



# **74. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft**

**10.-13. März 2014 in Karlsruhe**



Karlsruher Schloss/BLM



KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und  
nationales Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

## **Wir bedanken uns bei allen Sponsoren und Firmenausstellern:**

- Advanced Geosciences Europe S.L.
- Allied Associates Geophysical Ltd., GF Instruments
- BDG Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler e.V.
- Beta Analytic Limited
- CDM Smith Consult GmbH
- CGG
- DMT GmbH & Co KG
- European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE)
- E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
- Geosym GmbH
- Geotomographie GmbH
- geotrade Europe GmbH, MALÅ Geoscience
- GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH
- GGU Gesellschaft f. Geophysikalische Untersuchungen mbH
- Gravity Consult GmbH, Angewandte Gravimetrie
- Guralp Systems Ltd.
- K.J. Sandmeier Scientific Software
- Landesamt für Geoinformation u. Landentwicklung BW (LGL)
- NTK „Diogen“
- OptiMAES GmbH
- RWE Dea AG
- Society of Exploration Geophysicists (SEG)
- TEEC Geophysics
- Transinsight GmbH

sowie bei der Privatbrauerei Hoepfner und dem ZKM für die freundliche Unterstützung.

## ***Ein besonderes Dankeschön an unsere Hauptsponsoren:***





**Geophysikalische Messtechnik**  
Beratung | Service | Vertrieb



## Bringing you the latest developments in broadband seismology

### Trillium Posthole & Borehole



- >> Direct burials made easy
- >> Minimize installation cost and logistics of site set up with a downhole or direct burial installation
- >> Very low noise floor and reduced power consumption with new electronics
- >> Obtain higher quality data and keep your assets secure

Also available in a portable size  
Trillium Compact Posthole



### Centaur, the next generation digitizer

Building on the success of the Taurus digitizer, the Centaur is a portable digital acquisition system that consists of a high-resolution 24-bit ADC, a precision GPS clock, redundant and removable data storage.

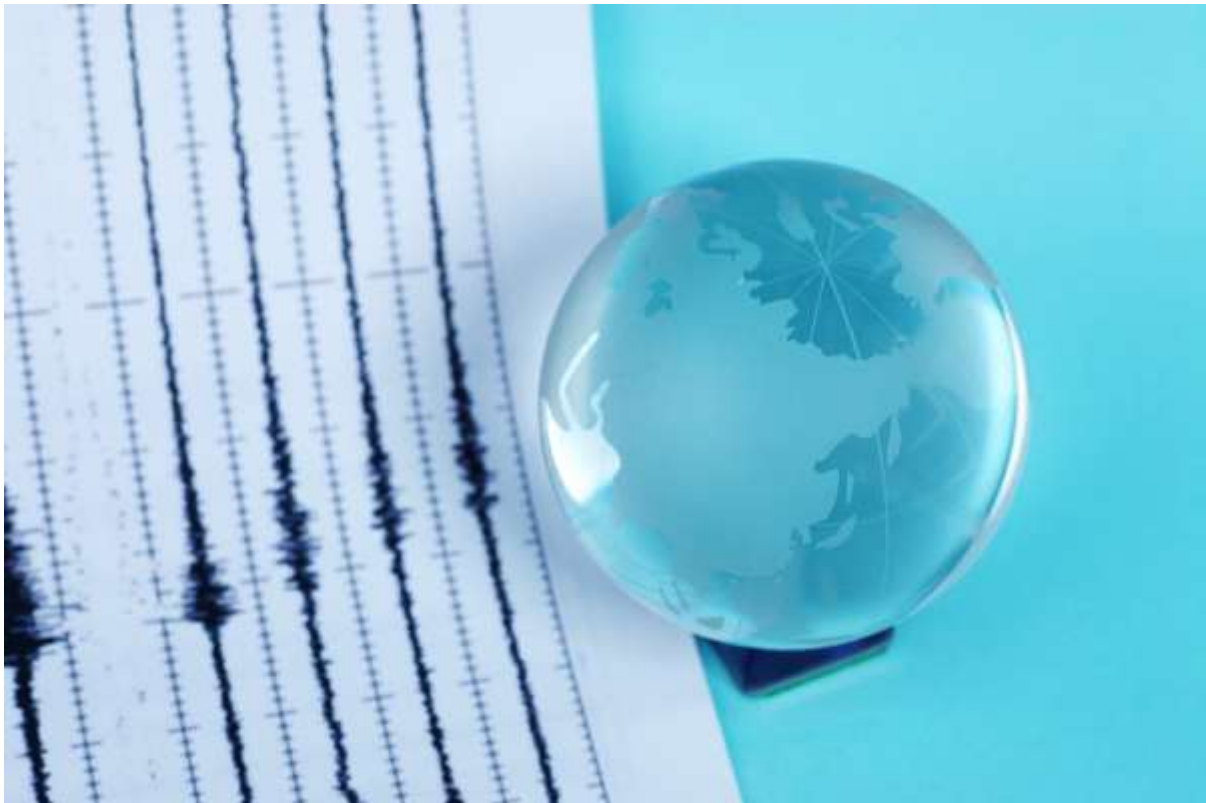
- >> Portable
- >> Durable
- >> Ease of networking & data sharing via NMX NP or SeedLink protocols
- >> Fast & easy deployment



IGM Ingenieurgesellschaft für geophysikalische Messtechnik mbH  
Untere St.-Leonhard-Str. 16 88662 Überlingen  
[www.igm-geophysik.de](http://www.igm-geophysik.de)  
[info@igm-geophysik.de](mailto:info@igm-geophysik.de)  
Tel. +49 (0) 7551 4077

Nanometrics Inc.  
Kanata, ON, Canada  
[www.nanometrics.ca](http://www.nanometrics.ca)  
[sales\\_mkt@nanometrics.ca](mailto:sales_mkt@nanometrics.ca)

## Part of a strong financial community



Allianz Group is one of the strongest financial communities in the world with a premium income of 106.4 bn Euro in 2012. Allianz Re as the Group's Reinsurer is an active and contributing part of this community.

Based on the financial strength of Allianz and with a global scope, Allianz Re provides reinsurance solutions for clients inside Allianz Group and outside. Global reach, extensive technical and analytical skills, high financial security and customized solutions backed by stable capacity are the foundation of our business.

### Managing the Unexpected

The specialists in our Cat Risk Management team deal on a daily basis with the unpredictable extremes of natural phenomena. Our meteorologists, seismologists, hydrologists, geographers and mathematicians have a profound understanding of hazard assessment and portfolio analysis in this sector. Applying their knowledge to the insured portfolio, they assess its overall vulnerability. This information is the basis for effective risk management measures in the insurance industry.

Global Reinsurance

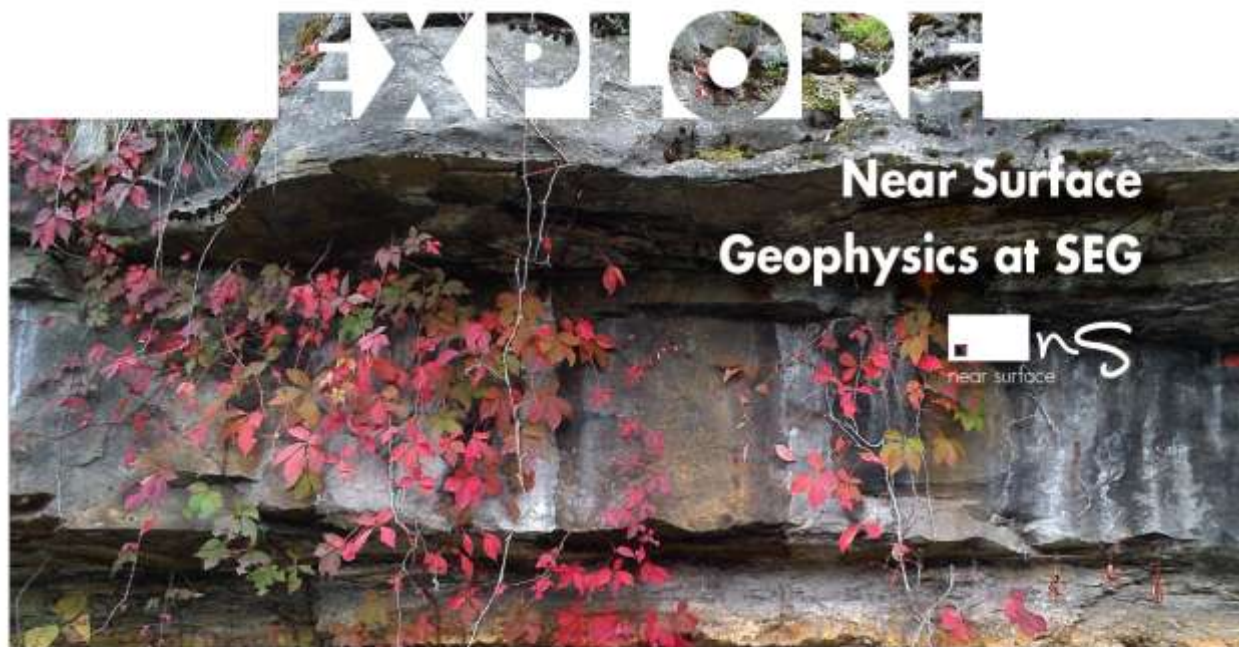
**Allianz** 

## Inhaltsverzeichnis

Einladung zur Mitgliederversammlung .....	5
Tagesordnung.....	5
Tagungsorganisation .....	7
Organisationsteam und Ansprechpartner .....	9
Allgemeine Hinweise.....	9
Tagungsort und Tagungsbüro vor Ort .....	9
Tagungsgebühren.....	9
Weitere Informationen.....	11
Anreise / Unterkünfte .....	11
Verpflegung.....	11
Tagungsband .....	11
Internetzugang .....	11
Tagungsprogramm.....	13
Eröffnungsveranstaltung .....	13
Plenarvorträge .....	13
Öffentlicher Abendvortrag .....	13
DGG Kolloquium .....	15
Firmenausstellung.....	15
Schwerpunktthemen .....	16
Sitzungen der Arbeitskreise und Komitees .....	17
Hinweise zu Vorträgen und Posterpräsentationen.....	17
Vorträge .....	17
Technik .....	17
Poster .....	17
Rahmenprogramm .....	19
Begrüßungsabend mit Alumni-Treffen.....	19
Studentischer Abend.....	19
Gesellschaftsabend.....	19
„Meet & Greet“-Frühstück für Geophysikerinnen .....	19
Abschlussveranstaltung .....	19
Exkursionen .....	20
Tagungsprogramm: Übersicht.....	21
Sessions: Übersicht .....	22
Sessions - Tabellenübersicht .....	24
Übersicht Vorträge und Poster .....	27
Montag, 10. März 2014 .....	27
Dienstag, 11. März 2014 .....	31
Mittwoch, 12. März 2014 .....	49
Donnerstag, 13. März 2014.....	65

Abstracts.....	72
Eröffnungsvortrag .....	72
Plenarvorträge .....	72
S1 Rifting .....	75
S1 Rifting Poster .....	80
S2 Wellenforminversion .....	81
S2 Wellenforminversion Poster .....	89
S3 Schwerefeld und Schweremessung.....	96
S3 Schwerefeld und Schweremessung Poster.....	102
S4 Geothermie.....	109
S4 Geothermie Poster .....	120
AR Archäogeophysik .....	126
AR Archäogeophysik Poster .....	127
BL Bohrlochgeophysik .....	129
BL Bohrlochgeophysik Poster .....	131
EM Elektromagnetik/ Georadar .....	134
EM Elektromagnetik/ Georadar Poster .....	143
EX Extraterrestrische Physik.....	154
GD Geodynamik .....	156
GD Geodynamik Poster .....	158
GE Geoelektrik/ IP .....	161
GE Geoelektrik/ IP Poster .....	167
GF Geodäsie/ Fernerkundung.....	171
GF Geodäsie/ Fernerkundung Poster .....	171
GO Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach.....	173
GO Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach Poster .....	173
GS Geschichte der Geophysik .....	185
MA Magnetik/ Erdmagnetismus .....	186
MA Magnetik/ Erdmagnetismus Poster .....	188
MG Marine Geophysik .....	194
MG Marine Geophysik Poster .....	198
MI Modellierung und Imaging .....	201
MI Modellierung und Imaging Poster.....	204
SE Seismik .....	209
SE Seismik Poster .....	217
SO Seismologie .....	223
SO Seismologie Poster .....	240
UI Umwelt- und Ingenieurgeophysik.....	258
UI Umwelt- und Ingenieurgeophysik Poster .....	262
Autorenverzeichnis .....	270





near surface  
to promote the practice  
of near-surface geophysics

SEG Society of Exploration Geophysicists  
The international society of applied geophysics  
[www.seg.org/ns](http://www.seg.org/ns)

Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft 2014  
ISSN 0344-7251

Deutsche Nationalbibliothek  
Bibliographische Daten unter: <http://d-nb.info/010965963/about/html>

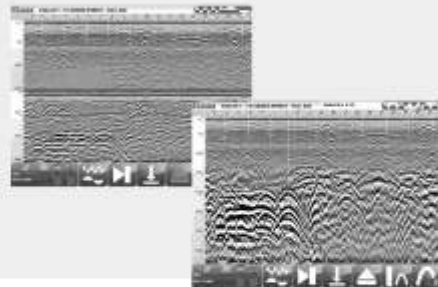
---

Redaktion (Tagungsband 2014): Geophysikalisches Institut, Hertzstr. 16. 76187 Karlsruhe  
Druck (Tagungsband 2014): Agentur & Druckerei Murr GmbH, im Husarenlager 6a-8,  
76187 Karlsruhe

Vorderseite: Karlsruher Schloss/Badisches Landesmuseum, CP 2013

## Neue Messgeräte 2013 / 2014

GSSI GPR-SIR-30 / DF & GF EM Explorer Serie / ARES II Geoelektrik



**GSSI DF Dual Frequency System (300 / 800 MHz)** - digital, schnell, robust, exakt für Ingenieurgeophysik, Baugrund, Leitungsortung, Archäologie, Bodenkunde

**GSSI SIR-30 2/4/8/E High Performance Multi-Channel GPR-System** - flexibel, schnell (750 scans/sec @ 512 samples), kompatibel zu allen GSSI Antennen



### GF Instruments ARES II Multi-Kanal und Multi-Elektroden Geoelektrik

850 W - 2000 V(p/p) - 5 A Transmitter  
10 Kanal Receiver - 20 IP Windows  
2D / 3D Resistivity, IP, VES, RP, SP  
Aktive und passive Kabel / Roll-Along  
Intuitives User Interface  
Moderne Schnittstellen

### GF Instruments CMD Explorer Serie

Multi-Receiver FD-EM Geräte  
Kabellose Bluetooth Verbindung  
Hohe Temperaturstabilität  
Digitale Kalibrierung  
10 Hz Datenrate  
GPS kompatibel  
Robustes Design



Verkauf - Vermietung - Beratung - Schulung - Service von  
Hard- und Software aller führenden Hersteller von  
**Georadar - Elektromagnetik (FD / TD) - Magnetik - Geoelektrik - Seismik - Gravimetrie - Gammaskpektrometrie**

**Allied Associates Geophysical Ltd. Büro Deutschland**  
Butenwall 56 / D-46325 Borken  
Tel.: +49-(0)2861-8085648 / Fax: +49-(0)2861-9026955  
susanne@allied-germany.de  
[www.allied-associates.co.uk](http://www.allied-associates.co.uk) / [www.allied-germany.de](http://www.allied-germany.de)





# Einladung zur Mitgliederversammlung

B.G. Lühr, Geschäftsführer, ase(at)gfz-potsdam.de

Im Namen des Vorstandes der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG) lade ich alle Mitglieder der DGG zur Mitgliederversammlung ein, die im Rahmen unserer 74. Jahrestagung 2014 am

**Mittwoch, 12. März 2014 in der Zeit von 17:30 bis 19:00 Uhr**

Im Gaede-Hörsaal, Geb. 30.22, Campus Süd des KIT in Karlsruhe stattfinden wird.

Um zahlreiches Erscheinen wird herzlich gebeten.

## Tagesordnung

- TOP 1: Begrüßung, Feststellung der fristgerechten Einberufung und Beschlussfähigkeit
- TOP 2: Genehmigung der Tagesordnung
- TOP 3: Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung am 6. März 2013 in Leipzig
- TOP 4: Bericht des Präsidenten
- TOP 5: Bericht des Geschäftsführers
- TOP 6: Bericht des Schatzmeisters
- TOP 7: Bericht der Kassenprüfer und Entlastung des Schatzmeisters
- TOP 8: Bericht des deutschen Herausgebers des Geophysical Journal International
- TOP 9: Bericht der Redaktion der DGG-Mitteilungen / GMit
- TOP 10: Kurzberichte der Leiter/Sprecher der DGG-Komitees und Arbeitskreise

Komitees: Publikationen, Öffentlichkeitsarbeit, Internet, Jahrestagungen, Ehrungen, Firmen, Mitglieder, Studierende, Studienfragen, Kooperationen

Arbeitskreise: Angewandte Geophysik, Elektromagnetische Tiefenforschung, Dynamik des Erdinnern, Hydro- und Ingenieur-Geophysik, Induzierte Polarisierung, Geothermik, Geschichte der Geophysik

- TOP 11: Diskussion und Abstimmung über die Satzung und die Beteiligung als Trägergesellschaft des Dachverbandes der Gesellschaften der Festen Erde
- TOP 12: Aussprache
- TOP 13: Entlastung des Vorstandes
- TOP 14: Wahlen zum Vorstand (Beisitzer)
- TOP 15: Protokollarische Feststellung des neuen Vorstandes
- TOP 16: Wahl der Kassenprüfer
- TOP 17: Anträge und Beschlüsse
- TOP 18: Verschiedenes

RWE Dea



## MIT EXPERTISE ZU MEHR GAS UND ÖL.

RWE Dea ist eine der leistungsstarken Gesellschaften zur Exploration und Produktion von Erdgas und Erdöl. Das Unternehmen wendet modernste Bohr- und Produktionstechniken an und nutzt dabei das umfangreiche Know-how aus einer mehr als 114-jährigen Firmengeschichte. Hinsichtlich Sicherheit und Umweltschutz setzt RWE Dea Maßstäbe. Die Gesellschaft gehört zum RWE-Konzern – einem der größten europäischen Energieunternehmen.

Angesichts des zunehmend steigenden weltweiten Energiebedarfs baut RWE Dea ihre Position im internationalen Upstream-Geschäft aus. Die Aktivitäten in Europa, Nordafrika, in der Region um das Kaspische Meer sowie in der südlichen Karibik und im äquatorialen Raum Südamerikas verfolgt das Unternehmen mit wachsendem Engagement und in Zusammenarbeit mit kompetenten Partnern.

RWE Dea AG | Überseering 40 | 22297 Hamburg | Germany  
T +49(0)40 - 63 75 - 0 | E [info@rwedea.com](mailto:info@rwedea.com) | I [www.rwedea.com](http://www.rwedea.com)

## VORWEG GEHEN

# Tagungsorganisation

## Veranstalter

### Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V.

Geschäftsstelle: Deutsches GeoForschungsZentrum – GFZ  
Telegrafenberg  
14473 Potsdam  
Telefon: +49 (0)331 288 1206  
Fax: +49 (0)331 288 1204  
E-Mail: ase(at)gfz-potsdam.de  
Internet: www.dgg-online.de

## Ausrichter

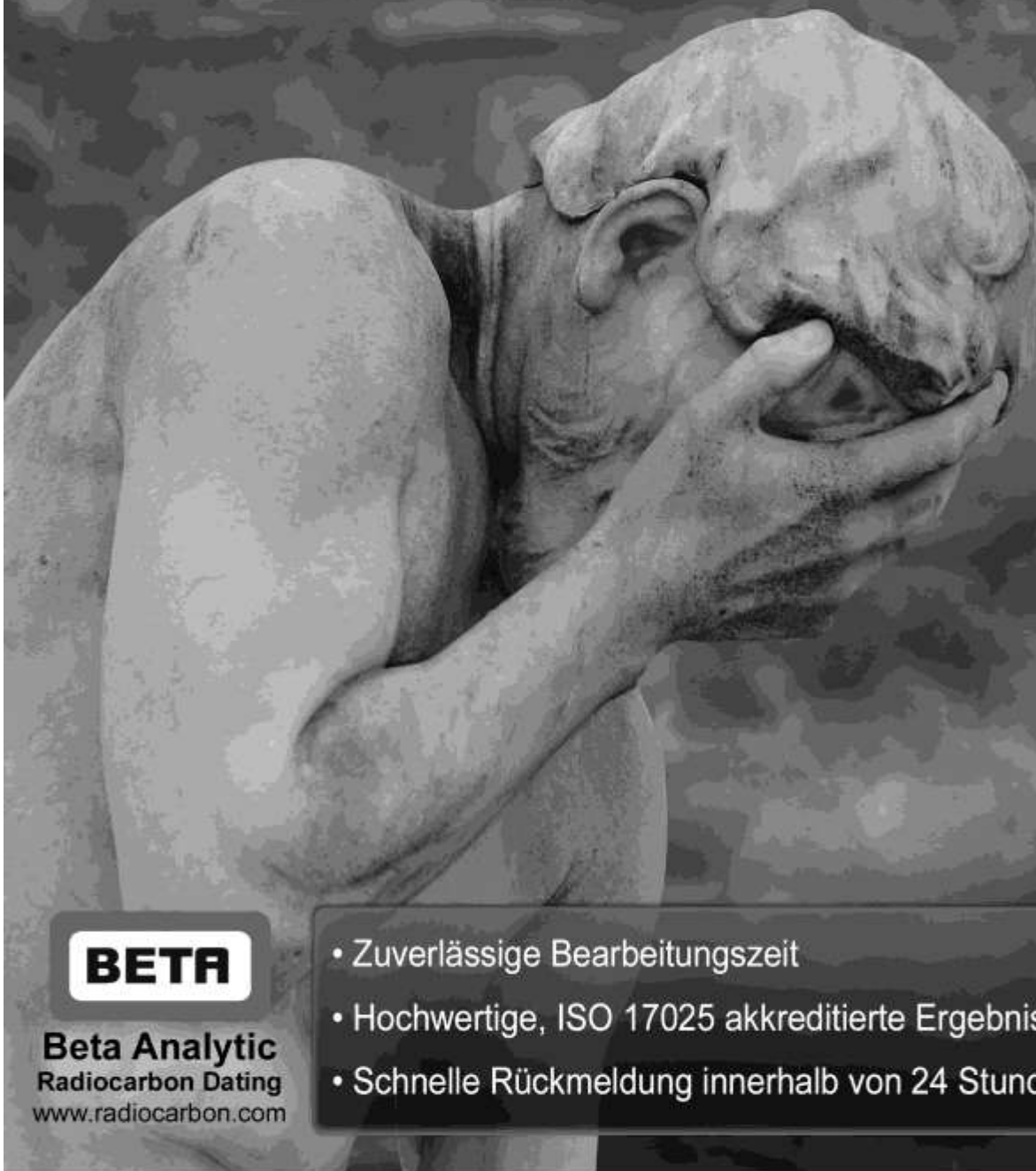
### Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Tagungsleiter: Prof. Dr. Thomas Bohlen  
Geophysikalisches Institut  
Karlsruher Institut für Technologie  
Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe  
Telefon: +49 (0)721 6084 4416  
Fax: +49 (0)721 71173  
E-Mail: thomas.bohlen(at)kit.edu  
Internet: www.dgg-2014.de

## Event Management

Event Management: witago  
Agentur für Kongress- und Event Management  
Quintschlag 37, 28207 Bremen  
Zuständig: Kerstin Biegemann  
Telefon: +49 (0)176 2073 6349  
Fax: +49 (0)421 4854 3952  
E-Mail: dgg-2014(at)witago.com  
Internet: www.witago.com

# Radiokohlenstoffdatierung ohne Reue



**BETA**

**Beta Analytic**  
Radiocarbon Dating  
[www.radiocarbon.com](http://www.radiocarbon.com)

- Zuverlässige Bearbeitungszeit
- Hochwertige, ISO 17025 akkreditierte Ergebnisse
- Schnelle Rückmeldung innerhalb von 24 Stunden

**Ergebnisse in weniger als 2-3 Tagen**

**Australien   Brasilien   China   Indien   Korea   UK   USA**

## Organisationsteam und Ansprechpartner

<i>Tagungsleitung</i>	Thomas Bohlen	44416	Thomas.Bohlen(at)kit.edu
<i>Tagungsbüro</i>	Claudia Payne	44443	Claudia.Payne(at)kit.edu
<i>Wiss. Programm</i>	Thomas Forbriger Thomas Bohlen	07836- 2151 44416	program-dgg2014(at)lists.kit.edu
<i>Posterausstellung</i>	Ellen Gottschämmer	44594	Ellen.Gottschaemmer(at)kit.edu
<i>Firmenausstellung</i>	Thomas Forbriger	07836- 2151	exhibition-dgg2014(at)lists.kit.edu
<i>Sponsoring</i>	André Kurzmann	44978	sponsoring-dgg2014(at)lists.kit.edu
<i>Jobbörse</i>	Anne-Sophie Reiß Niklas Thiel	44440 44603	jobcenter-dgg2014(at)lists.kit.edu
<i>Öffentlichkeitsarbeit</i>	Martin Schäfer	44611	m.schaefer(at)kit.edu
<i>Rahmenprogramm</i>	Sven Heider	44496	Sven.Heider(at)kit.edu
<i>Webauftritt</i>	Petra Knopf	44438	webmaster(at)dgg-2014.de
<i>Raumplanung</i>	Joachim Ritter	44539	Joachim.Ritter(at)kit.edu

Die Telefonnummern verwenden Sie bitte mit der Vorwahl +49 (0) 721-608-

## Allgemeine Hinweise

### Tagungsort und Tagungsbüro vor Ort

Die Tagung findet im Hörsaalkomplex der Fakultät für Physik auf dem Campus Süd des KIT statt. (Geb. 30.22 und 30.21, Engesserstr. 7, 76131 Karlsruhe). Während der Tagung finden Sie das Tagungsbüro (Tel. 0176 2073 6349) am Ort der Veranstaltung.

Öffnungszeiten: Montag bis Mittwoch: 08:00-18:00 Uhr, Donnerstag 08:00-14:00 Uhr.

## Tagungsgebühren

	Early Bird (bis 8.1.2014)	Pre-Registration (bis 17.2.2014)	On-Site (ab 10.3.2014)
Reguläre DGG-Mitglieder	120,00 €	150,00 €	190,00 €
Studentische DGG-Mitglieder	10,00 €	40,00 €	70,00 €
Nichtmitglieder	160,00 €	190,00 €	230,00 €
Studentische Nichtmitglieder	25,00 €	55,00 €	85,00 €
Gesellschaftsabend Nichtstudierende	35,00 €	35,00 €	35,00 €
Gesellschaftsabend Studierende	25,00 €	25,00 €	25,00 €
Gesellschaftsabend Begleitpersonen**	60,00 €	60,00 €	60,00 €
Tageskarte			110,00 €

(\*\*): Berechtigt zur Teilnahme am Begrüßungsabend, an der Festveranstaltung, an der Eröffnung der Firmenausstellung, sowie am Gesellschaftsabend.



# Summit M Vipa

## The 'Vibration Monitoring System'!



SUMMIT M Vipa is a three channel seismograph for vibration monitoring with an additional channel for noise monitoring. The units can be linked together to build up a monitoring network.

With integrated parameter and data control facilities - SUMMIT M Vipa provides structural vibration monitoring according to all common standards. 24 bit technology ensures ultrasensitive vibration monitoring for continuous and event based recording.

SUMMIT M Vipa comes with easy setup routines and long duration batteries.

### Specialised for Mobile Vibration Monitoring!

- Easy to use, lightweight, ruggedized
- 4 GB internal memory, virtually unlimited external storage via USB port
- Noise monitor
- Remote access (mobile or internet)
- Easy setup of networks



[www.dmt.de](http://www.dmt.de)

Für Stornierungen bis zum 1. Februar 2014 (Schriftform erforderlich) wird eine Gebühr von 30 € erhoben. Bei Stornierungen nach dem 1. Februar 2014 besteht kein Anspruch auf Rückerstattung der Tagungsgebühren. Der Differenzbetrag zwischen Mitgliedern und Nichtmitgliedern wird bei einem Beitritt zur DGG auf den Jahresbeitrag angerechnet.

## Weitere Informationen

### Anreise / Unterkünfte

Informationen zu Anreise und Übernachtungsmöglichkeiten in Karlsruhe finden Sie auf der Webseite der Tagung. Eine frühzeitige Hotelreservierung wird unbedingt empfohlen.

### Verpflegung

Es besteht die Möglichkeit während der Tagung das Mittagessen in der Mensa (Linie 6 für Barzahler) oder umliegenden Lokalen einzunehmen.

### Tagungsband

Der Tagungsband wird bei der Anmeldung vor Ort im Tagungsbüro ausgehändigt. Er enthält das Tagungsprogramm, Abstracts sowie Zeit- und Raumpläne. Der Tagungsband steht außerdem ab Ende Februar 2014 als PDF-Download auf den Internetseiten der Tagung zur Verfügung.

### Internetzugang

Im Tagungsgebäude ist WLAN verfügbar, u.a. eduroam. Bei der Registrierung vor Ort werden die Zugangsdaten ausgegeben, die für die Zeit der Tagung gültig sind. Es werden keine PCs für den Internetzugang zur Verfügung gestellt.



### **GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH**

- Geophysikalische Untersuchungen - Geoelektrik, Gravimetrie, Seismik, Magnetik, Elektromagnetik, Georadar
- Rohstoffexploration: Kohle, Erze, Kali und Salz, Erdöl und Erdgas, Steine und Erden, Wasser, Geothermische Energie
- Geoelektrisches und gravimetrisches Monitoring
- Erschütterungs- und Dehnungsmessungen
- Schwachstellenanalysen an Deichen und Dämmen
- Baugrunduntersuchungen, Hohlraumerkundung
- Planung, Beratung, Qualitätskontrolle

Bautzner Str. 67 | 04347 Leipzig

Tel. 0341-2421 310 | Fax 0341-2421 311 | [info@ggl-gmbh.de](mailto:info@ggl-gmbh.de) | [www.ggl-gmbh.de](http://www.ggl-gmbh.de)





# Gravity Consult GmbH

Ingenieurbüro für Geodynamik, Bonn

Gravimeter – Seismometer – Service



**ZLS Corporation**

**REF TEK**   
A DIVISION OF TRIMBLE

Komplette Mess-Systeme und Beratungsleistungen:  
Standortuntersuchungen und Begutachtungen

Information: [www.gravity-consult.de](http://www.gravity-consult.de)

Kontakt: [info@gravity-consult.de](mailto:info@gravity-consult.de)

**Gravity Consult GmbH     Annettenstr. 2     53175     Bonn**

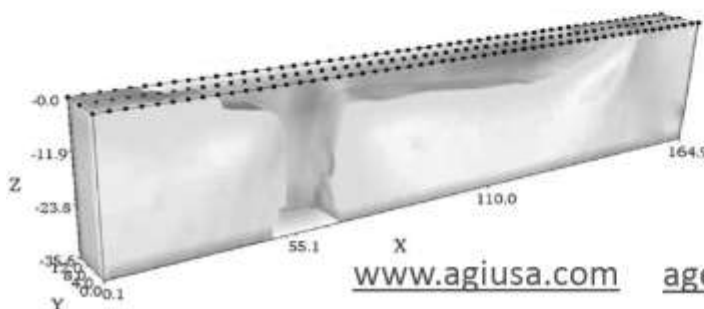
 **AGE** *Advanced  
Geosciences Europe, S.L.*

## RESISTIVITY IMAGING SYSTEMS and SOFTWARE

- SALES
- RENTALS
- REPAIRS
- SEMINARS
- DATA PROCESSING
- TECHNICAL SUPPORT



AGI MiniSting, SuperSting WiFi, PowerSting and EarthImager for 1D, 2D, 3D and 4D Resistivity, IP, SP Imaging on Land and Water Environment Studies.



[www.agiusa.com](http://www.agiusa.com)     [age@agiusa.com](mailto:age@agiusa.com)

Calle del Aire, 85  
28042, Madrid, SPAIN  
Tel: +34.913.056.477  
Fax: +34.911.311.783

# Tagungsprogramm

## Eröffnungsveranstaltung

Die feierliche Eröffnungsveranstaltung findet am Montag, den 10. März 2014 ab 14:00 Uhr im Gerthsen Hörsaal des KIT (Geb. 30.20) statt. Das Programm beinhaltet Grußworte der Tagungsleitung, von Vertretern der Fakultät für Physik, des KIT Präsidiums, der Stadt Karlsruhe und des MWK Baden-Württemberg, sowie des Präsidenten der DGG Prof. Dr. Michael Korn. Umrahmt von einem musikalischen Programm folgen die Ehrungen und Preisverleihungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Die DGG wird ihre höchste Auszeichnung, die Emil Wiechert Medaille für herausragende wissenschaftliche Leistungen, an Prof. Dr. Rainer Kind aus Potsdam verleihen.

Die Eröffnungsveranstaltung wird durch den wissenschaftlichen Vortrag von Herrn Michael Sailer (Öko Institut e.V.) abgeschlossen:

*„Endlagersuche für Nuklearabfälle – eine Herausforderung für Wissenschaft und Gesellschaft“*

## Plenarvorträge

### Montag, 10. März 2014, 13:00 Uhr (Gaede-Hörsaal)

Thomas Kohl, (AGW, KIT)  
*„Claim for seismic "weather forecasting" and comprehensive data investigation for geothermal projects“*

### Dienstag, 11. März 2014, 13:30 Uhr (Gaede Hörsaal)

Colin Devey, (Geomar, Kiel)  
*„Ocean Spreading - is the present the key to the past?“*

### Mittwoch, 12. März 2014, 13:30 Uhr (Gaede Hörsaal)

Thomas Braun, (INGV, Arezzo, Italien)  
*„Das Gerichtsverfahren zum L'Aquila-Beben: Auf der Suche nach Gerechtigkeit...“*

### Donnerstag, 13. März 2014, 13:30 (Gaede Hörsaal)

Reiner Rummel, (TU München)  
*„Satellitengravimetrie: Versuch einer Zwischenbilanz“*

## Öffentlicher Abendvortrag

Der öffentliche Abendvortrag der DGG findet am Mittwoch, den 12. März 2014 um 20 Uhr im Gerthsen Hörsaal des KIT (Geb. 30.20) statt. Es spricht Professor Dr. H.-U. Schmincke zum Themenbereich Vulkanismus.

### ***„Vulkan-Magmasysteme: die Sicht der Wissenschaft und die der Öffentlichkeit“***

Vulkanausbrüche sind medienwirksame Naturereignisse. Der Vortrag beginnt mit der Vorstellung von Vulkan-Magmasystemen: von den Magmaquellen im tiefen Erdmantel bis zu den Auswirkungen klimawirksamer Eruptionen in der Stratosphäre. Angesichts der ambivalenten Rezeption von Vulkanausbrüchen in TV- und Printmedien werden die Thesen diskutiert, dass Vulkane nicht gefährlich und die meisten sogenannten Naturkatastrophen im Grunde gesellschaftliche Katastrophen sind.

# Geophysik zerstörungsfreie Prüfung



ausführliche Verfahrensbeschreibungen  
sowie viele Fallbeispiele unter:  
[www.ggukarlsruhe.de](http://www.ggukarlsruhe.de)

Die Meßverfahren:

SEISMIK  
GEORADAR  
GEOELEKTRIK  
GEOTHERMIK  
GRAVIMETRIE  
ULTRASCHALL  
GEOMAGNETIK  
ELEKTROMAGNETIK  
ERSCHÜTTERUNGSMESSUNG

Für wen wir arbeiten:

UMWELTWISSENSCHAFTLER  
HOCHBAUINGENIEURE  
TIEFBAUINGENIEURE  
DENKMALPFLEGER  
HYDROGEOLOGEN  
KRIMINOLOGEN  
ARCHÄOLOGEN  
GEOTECHNIKER  
ARCHITEKTEN  
GEOLOGEN



Tel. 0049-721-28678  
Fax 0049-721-25408  
E-Mail [mail@ggukarlsruhe.net](mailto:mail@ggukarlsruhe.net)  
Internet [www.ggukarlsruhe.de](http://www.ggukarlsruhe.de)

GGU Gesellschaft  
für Geophysikalische  
Untersuchungen mbH  
Amalienstraße 4, D-76133 Karlsruhe



## DGG Kolloquium

Der Arbeitskreis „Angewandte Geophysik“ der DGG führt am **Mittwoch, den 12. März 2014 von 09:00 bis 12:40 Uhr** das DGG Kolloquium zum Thema „Georisiken – Hangrutschungen“ durch (Lehmann Hörsaal, Geb. 30.22).

09.00 – 09.40: Borgatti, L. (U Bologna), Long, N.T. and Schanz, T. (U Bochum): **Large landslides in computational geomechanics - model validation and mitigation.**

09.40 – 10.20: Bogaard, T. (TU Delft): **Landslide hydrology - understanding and quantifying the influence of hydrological processes in unstable slopes.**

10.20 – 10.40: Pause

10.40 – 11.20: Polom, U. and Krawczyk, C. (LIAG, Hannover): **Exploration of landslide geometry by seismics.**

11.20 – 12.00: Walter, M. (Esslingen) and Joswig, M. (U Stuttgart): **Discovery and interpretation of slidequake generation at softrock-landslides.**

12.00 – 12.40: Lege, T. and Frei, M. (BGR, Hannover): **Remote sensing for detection and monitoring of landslides.**

## Firmenausstellung

Die Firmenausstellung wird im Anschluss an die Eröffnungsveranstaltung mit einem Icebreaker in Geb. 30.22 Campus Süd des KIT eröffnet. **\*\*\*Wir bedanken uns bei Allied Associates Geophysical Ltd. und Geotomographie GmbH für die freundliche Unterstützung.\*\*\***

### Aussteller:

- Advanced Geosciences Europe S.L
- **Allianz SE Rückversicherung - Hauptsponsor**
- Allied Associates Geophysical Ltd., GF Instruments
- BDG Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler e.V.
- CDM Smith Consult GmbH
- CGG
- DMT GmbH & Co KG
- European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE)
- Geosym GmbH
- Geotomographie GmbH,
- geotrade Europe GmbH, MALÅ Geoscience
- Gravity Consult GmbH, Angewandte Gravimetrie
- Guralp Systems Ltd.
- **IGM Ingenieurgesellschaft für geophysikalische Messtechnik GMBH, Nanometrics Inc. - Hauptsponsor**
- Landesamt für Geoinformation u. Landentwicklung, Baden-Württemberg (LGL)
- NTK „Diogen“
- optiMAES GmbH
- RWE Dea AG
- Transinsight GmbH

## Schwerpunktthemen

### S1 Rifting

Rifting is a fundamental process within the concept of plate tectonics. The cities of Karlsruhe and Strasbourg are located inside the Upper Rhine Graben, a Neogene continental rift. Research on rifting has a long tradition at both locations. During DGG 2014 there will be a focus on current structural studies of the crust and upper mantle as well as geodynamic modelling of continental and oceanic rifts. Special attention will be given to the Upper Rhine Graben. This focus theme will be organised jointly with the IPG Strasbourg and in English language.

### S2 Wellenforminversion

Das Ziel der Wellenforminversion ist die Rekonstruktion physikalischer Parametermodelle aus Beobachtungen vollständiger Signale. Sie gehört zu den anspruchsvollsten Verfahren, die derzeit im Bereich der Seismik, Seismologie und des Bodenradars entwickelt und angewendet werden. Um den vollständigen Informationsgehalt der registrierten Signalformen nutzen zu können, ist eine realistische und physikalisch exakte Simulation der Ausbreitung der physikalischen Felder im Erdinneren erforderlich. Die kontinuierlich steigende Computerleistung sowie die Verbesserung der Datenakquisition ermöglichen in den letzten Jahren beträchtliche Fortschritte auf diesem Gebiet. Erfolgreiche Anwendungen werden vor allem in der seismischen Erkundung, der Erdbeben-seismologie, der zerstörungsfreien Materialprüfung mit Ultraschall sowie bei der oberflächennahen Grundwassererkundung mittels Georadar beschrieben. Die weiter schnell fortschreitenden methodischen Entwicklungen umfassen ein weites Spektrum von der Verbesserung der Datenakquisition, der Optimierung der Simulationsverfahren auf Hochleistungsrechnern bis hin zur Entwicklung und Auswahl von datenangepassten Inversionsstrategien.

### S3 Schwerefeld und Schweremessung

Das Schwerefeld der Erde enthält wertvolle Informationen über die Massenverteilung im Erdinneren, Massenbewegungen und die viskoelastische Reaktion der Erde auf äußere Kräfte. Messungen der Schwerebeschleunigung werden auf allen Längenskalen genutzt, beispielsweise für Baugrunduntersuchungen, zur Suche nach Rohstoff-Lagerstätten aber auch zum Studium der Dynamik von Erdmantel und Erdkern. Die Reaktion der Erde auf die Gezeitenkräfte ist in der zeitlichen Veränderung der Schwerebeschleunigung beobachtbar. Daraus sollen neue Kenntnisse über die großskaligen, viskoelastischen Eigenschaften der Erde gewonnen werden. Weitere zeitliche Änderungen des Schwerefeldes werden durch lokale und regionale hydrologische Signale hervorgerufen. Langzeitbeobachtungen des Schwerefeldes tragen deshalb zu einer verbesserten Parameterbestimmung in der Bilanz des Wasserkreislaufs bei. Last but not least definiert das Schwerefeld das Höhenbezugsniveau für regionale und nationale Höhensysteme, die bisher an Meeresspiegeln angeschlossen wurden, künftig aber auf ein einheitliches Welthöhensystem zu beziehen sind. In den vergangenen Jahren wurden auch Sensorsysteme (satellitengestützte Sensoren, supraleitende Gravimeter, Atomstrahlgravimeter, etc.) komplett neu entwickelt oder entscheidend verbessert. Zu den Sitzungen dieses Schwerpunktes laden wir Beiträge aus dem gesamten Spektrum der Gravimetrie ein, von der Entwicklung der Messinstrumente und Auswerteverfahren bis hin zum Studium der Struktur und Dynamik der Erde.

### S4 Geothermie

Die Nutzung der Geothermie rückt vor dem Hintergrund der Energiewende in den gesellschaftlichen Blickpunkt. Im Gegensatz zu anderen Energieformen, verspricht diese eine umweltfreundliche CO<sub>2</sub>-arme Grundlastversorgung. Die Entwicklung in Mitteleuropa ist bei weitem noch nicht so vorangeschritten wie die der anderen erneuerbaren Energien. Es fehlt hier u.a. eine ähnliche Erfahrung wie im Kohlenwasserstoff-Bereich sowie die technologische Optimierung der Reservoir-Eigenschaften, aber auch die notwendige Akzeptanz in der Bevölkerung. In diesem Schwerpunkt soll daher die wissenschaftliche Forschung in seiner Breite dargestellt werden. Geowissenschaftlich stellen die unterschiedlichen Themen von induzierter Seismizität bis zur Optimierung des Reservoirs große Herausforderungen dar. Dies gilt insbesondere auch für die Komplexität der Prozesskopplung und der Reservoirstrukturen. Im Fokus stehen hierbei die

Bereiche Seismologie, Exploration, Bohrloch-Geophysik, aber auch Arbeiten aus der Geochemie, Petrologie, Hydrogeologie. Beiträge aus dem Bereich der geomechanischen Prozesskopplung geben eine Übersicht auf die Auswirkungen massiver Injektion auf das Spannungsfeld und induzierter Seismizität. Thematisch naheliegende Arbeiten in der Kohlenwasserstoff-Forschung und der geologischen CO<sub>2</sub>-Speicherung sollen einen Vergleich und eine Perspektive zu einem technologisch weiterführenden Bereich ermöglichen.

### **Sitzungen der Arbeitskreise und Komitees**

Die Arbeitskreise und Komitees der DGG haben die Möglichkeit, sich während der Jahrestagung zu treffen. Dafür stehen am Dienstag Nachmittag zw. 17:30 und 18:30 Uhr Seminarräume in Geb. 30.22 und Geb. 30.23 zur Verfügung. Die Leiter der Arbeitskreise und Komitees werden gebeten, den Bedarf bis zum 01. Februar 2014 per E-mail an joachim.ritter(at)kit.edu anzumelden. Bitte nennen Sie die Uhrzeit, die Personenzahl sowie ggf. die erforderliche technische Ausstattung.

## **Hinweise zu Vorträgen und Posterpräsentationen**

### **Vorträge**

Die Vortragszeit beträgt **20 Minuten einschließlich fünf Minuten für die Diskussion**. Bedenken Sie bitte, dass Sie auf eine Diskussion verzichten, wenn Sie die Vortragszeit von 20 Minuten komplett ausnutzen! Die Zeiten müssen strikt eingehalten werden, um die Synchronisation der Parallelsitzungen zu gewährleisten und nachfolgende Vortragende nicht zu benachteiligen.

### **Technik**

In den Hörsälen steht Vortragstechnik mit Laptops bereit, auf welche die Dateien rechtzeitig aufgespielt werden müssen. Mitgebrachte Laptops können aus Sicherheitsgründen nicht angeschlossen werden. Um einen ungestörten Ablauf zu gewährleisten, gelten für die Übertragung auf die Rechner im jeweiligen Vortragssaal folgende Regelungen:

1. Vorträge am Montagmorgen müssen vor 9:00 Uhr übertragen sein.
2. alle anderen Vorträge jeweils am Vortag bis spätestens 17:30 Uhr.

Die Präsentationen müssen auf einem geeigneten Datenträger (USB-Stick, CD) im Format PDF (kompatibel zu Acrobat Reader) oder Microsoft Powerpoint (kompatibel zu Microsoft Powerpoint 2010) vorliegen. Das Seitenverhältnis der Beamer ist 4:3.

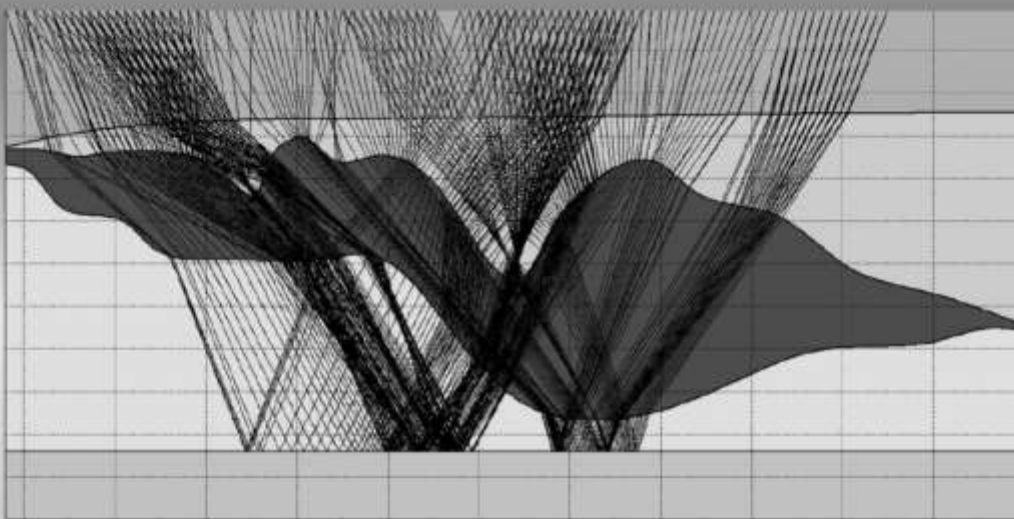
### **Poster**

Die Posterpräsentationen der Schwerpunktthemen S1, S2 und S4, sowie die Sessions AR, BL, GD, GF, SO und UI finden Dienstagnachmittag statt, die der Schwerpunktthemen S3, sowie der Sessions EM, GO, MA, MG, MI und SE am Mittwochnachmittag (jeweils ab 16:00 Uhr). Während dieser Zeit sind keine Vorträge geplant. Die Poster sind im **DIN-A0-Hochformat** anzufertigen. Es wird empfohlen, die Poster als Handout im DIN-A4-Format für Interessierte am Poster bereitzustellen. Während der Postersession muss einer der Autoren anwesend sein. Pinnadeln zum Anheften der Poster werden im Tagungsbüro bereit gestellt. Die Poster der Dienstagssessions können bereits am Montag Vormittag aufgehängt werden und müssen am Dienstag direkt nach der Postersession von einem der Autoren abgenommen werden. Die Poster der Mittwochssessions können ab Mittwochmorgen aufgehängt werden und müssen bis Donnerstag Nachmittag von einem der Autoren abgenommen werden.

# Seismic Data Processing & Interpretation at TEEC

*TEEC offers seismic processing services e.g. to the oil, gas and geothermal industry.*

*Our profound experience in seismic data processing enables us to get the most out of any seismic dataset.*



## *Our portfolio covers:*

- ➡ *Seismic data processing*
- ➡ *CRS processing*
- ➡ *Refraction statics calculation*
- ➡ *High resolution coherency processing*
- ➡ *CRS tomography*
- ➡ *Prestack time and depth migration*
- ➡ *Reservoir characterization*
- ➡ *Seismic facies classification*
- ➡ *Seismic interpretation*



TEEC GmbH  
Burgwedeler Str. 89  
30916 Isernhagen, Germany

☎ +49 (0) 511 7240452  
🌐 [www.teec.de](http://www.teec.de)  
✉ [info@teec.de](mailto:info@teec.de)



TEECsolutions LLC  
3100 Wilcrest Drive, Suite 325  
TX-77042, Houston, USA

☎ +1 (281) 763 7570  
🌐 [www.teecsolutions.com](http://www.teecsolutions.com)  
✉ [office@teecsolutions.com](mailto:office@teecsolutions.com)

# Rahmenprogramm

## Begrüßungsabend mit Alumni-Treffen

Der Begrüßungsabend findet am Sonntag, den 9. März, ab 19:00 im Hoepfner *Schalande*r in der Haid- und Neu-Straße 18, 76131 Karlsruhe statt. Registrierte Teilnehmer, die sich für den Begrüßungsabend angemeldet haben, können dort ihre Tagungsunterlagen erhalten. Zu dieser Veranstaltung begrüßen wir besonders unsere Karlsruher Geophysik-Alumni, die sich zum zweiten Mal in Karlsruhe treffen werden. Den Hoepfner *Schalande*r (Eingang durch den Biergarten) erreichen Sie mit den Straßenbahnlinien 4, S2 und 5, Haltestelle Karl-Wilhelm-Platz oder Hauptfriedhof.

## Studentischer Abend

Der studentische Abend findet am 10. März um 19:30 Uhr im Studentenzentrum Zähringerstraße 10 in Karlsruhe statt. Das Treffen richtet sich vorrangig an Studierende und bietet die Möglichkeit zum Austausch und Kennenlernen in interessanter Atmosphäre.

## Gesellschaftsabend

Der traditionelle Gesellschaftsabend der DGG findet am Dienstag, den 11. März 2014, von 19:00 - 22:00 Uhr im Foyer des Zentrums für Kunst und Medientechnologie (ZKM) Karlsruhe in festlicher Umgebung statt. Ein Abendessen in Form eines Buffets und Getränke (ausgenommen Spirituosen u. Kaffee) sind im Preis für den Gesellschaftsabend inbegriffen. Als besonderes Highlight wird das Museum exklusiv für unsere Gäste geöffnet sein. Das in Deutschland einzigartige ZKM beheimatet das Medienmuseum und das Museum für Neue Kunst. Es gibt wechselnde Sonderausstellungen mit neuen interessanten Exponaten. Das ZKM erreichen Sie mit der Straßenbahnlinie 2, Haltestelle „ZKM“. Parkmöglichkeiten gibt es in der Tiefgarage des ZKM, Zufahrt über den Brauer-Boulevard.

## „Meet & Greet“-Frühstück für Geophysikerinnen

In diesem Jahr wird erstmals ein „Meet & Greet“-Frühstück für Geophysikerinnen und Geophysikstudentinnen stattfinden. Ziel des „Meet & Greet“-Frühstücks ist es, eine Plattform für den gegenseitigen Austausch zu schaffen. Studentinnen wird bei diesem Anlass die Gelegenheit geboten, beruflich fortgeschrittene Geophysikerinnen zu treffen und verschiedene berufliche Werdegänge kennenzulernen. Das Frühstück findet am Dienstag, den 11. März 2014, von 7:30 Uhr bis 9:00 Uhr im Forstlichen Bildungszentrum Karlsruhe statt. Adresse: Richard-Willstätter-Allee 2, 76131 Karlsruhe (Zugang über Campus Süd).

## Abschlussveranstaltung

Die Abschlussveranstaltung findet am 13. März 2014, 14:30-15:30 Uhr im Gaede Hörsaal statt. Die drei besten Vorträge und Poster von jungen Erstautoren (bis 31 Jahre) werden prämiert.



## Exkursionen

Begleitend zur Tagung sind mehrere Exkursionen geplant. Bitte beachten Sie, dass aus organisatorischen Gründen für alle angebotenen Besichtigungen und Touren Mindest- und Maximalteilnehmerzahlen gelten.

Montag, 10.3.2014, 20:00 – ca. 21:00 Uhr Kosten: 6 € / Person

### **Karlsruhe Tourismus: Spaziergang durch das abendliche Karlsruhe**

Treffpunkt: vor der evangelischen Stadtkirche am Marktplatz (gegenüber vom Rathaus) 19:55 Uhr  
Rundgang durch die Karlsruher Innenstadt, vorbei an vielen Sehenswürdigkeiten, gemixt mit Geschichten aus der jüngeren Vergangenheit, Anekdoten sowie dem Zeitgeschehen.

Donnerstag, 13.3.2014, 15:30 – ca. 17:30 Uhr, Kosten: keine

### **Brauereiführung in der Hoepfner Burg**

Treffpunkt: Tagungsbüro 15:30 Uhr, Führung nur in Deutsch!  
Interessante Erzählungen zur Brauereigeschichte und Bierherstellung.

Donnerstag, 13.3.2014, 15:30 – ca. 19:00 Uhr, Kosten: 5 € / Person

### **Exkursionen zum Campus NORD: ANKA und bioliq**

Treffpunkt: Tagungsbüro 15:30 Uhr

„Die Synchrotronstrahlungsquelle **ANKA** ist ein Teilchenbeschleuniger, der auf die Generierung von Licht in all seinen spektralen Facetten spezialisiert ist, um es für wissenschaftliche Experimente und technologische Innovationen nutzbar zu machen. (Quelle: [www.anka.kit.edu/2184.php](http://www.anka.kit.edu/2184.php))

**bioliq®** ist eine Antwort auf der Suche nach nachhaltig erzeugten, qualitativ hochwertigen Biokraftstoffen. Das mehrstufige Verfahren berücksichtigt dabei sowohl die dezentrale Struktur der Bereitstellung von Biomasse als auch die Notwendigkeit einer wirtschaftlich sinnvollen, großtechnischen Produktion.“ (Quelle: [www.bioliq.de/24.php](http://www.bioliq.de/24.php))

Donnerstag, 13.3.2014, 15:30 – ca. 19:00 Uhr, Kosten: 5 € / Person

### **Exkursionen zum Campus NORD: KATRIN und TOSKA**

Treffpunkt: Tagungsbüro 15:30 Uhr

„Das KARlsruhe TRItium Neutrino (**KATRIN**) ist ein internationales Projekt, dass sich über mehrere Kontinente erstreckt. Dahinter verbirgt sich eines der größten Rätsel der Naturwissenschaft, nämlich das Rätsel ob Neutrinos eine Masse besitzen. Das KATRIN-Experiment dient zur Bestimmung der Neutrinomasse auf 0.2 eV/c<sup>2</sup> genau. Es ist ein visionäres Tritium Betazerfall Aufbau, das auf früheren Experimenten aufbaut, jedoch mit stärkerer Quelle und feineren Detektoren ausgestattet ist. (Quelle: [www.katrin.kit.edu/deutsch/index.php](http://www.katrin.kit.edu/deutsch/index.php)).

„Die **TOSKA** (ToroidalSpulen Testanlage Karlsruhe) Anlage wurde Anfang der 1980er Jahre konstruiert, um große supraleitende Magnete für die Fusion testen zu können.“ (Quelle: [www.itp.kit.edu/98.php](http://www.itp.kit.edu/98.php))

# Tagungsprogramm: Übersicht

## Sonntag, 9. März 2014

19:00-21:00 Uhr Begrüßungsabend (Hoepfner Schallender, 76131 Karlsruhe)  
(+ Tagungsunterlagen für angemeldete Teilnehmer)

## Montag, 10. März 2014

10:30-12:10 Uhr Vorträge  
12:10-13:00 Uhr Mittagspause  
13:00-14:00 Uhr Plenarvortrag (Gaede Hörsaal)  
14:00-16:30 Uhr Eröffnungsveranstaltung (Gerthsen Hörsaal)  
im Anschluss Eröffnung der Firmenausstellung  
ab 19:30 Uhr Studentischer Abend (Z10)

## Dienstag, 11. März 2014

09:00-10:20 Uhr Vorträge  
10:20-10:40 Uhr Pause  
10:40-12:20 Uhr Vorträge  
12:20-13:30 Uhr Mittagspause  
13:30-14:30 Uhr Plenarvortrag (Gaede Hörsaal)  
14:30-15:50 Uhr Vorträge  
16:00-18:00 Uhr Postersession S1, S2, S4, AR, BL, GD, GF, SO und UI  
ab 19:00 Uhr Gesellschaftsabend (im Foyer des ZKM)

## Mittwoch, 12. März 2014

09:00-10:20 Uhr Vorträge  
10:20-10:40 Uhr Pause  
10:40-12:20 Uhr Vorträge  
12:20-13:30 Uhr Mittagspause  
13:30-14:30 Uhr Plenarvortrag (Gaede Hörsaal)  
14:30-15:50 Uhr Vorträge  
16:00-17:30 Uhr Postersession S3, EM, GO, MA, MG, MI und SE  
17:30-19:00 Uhr DGG-Mitgliederversammlung (Gaede Hörsaal)  
20:00-21:00 Uhr Öffentlicher Abendvortrag (Gerthsen Hörsaal)

## Donnerstag, 13. März 2014

09:00-10:20 Uhr Vorträge  
10:20-10:40 Uhr Pause  
10:40-12:20 Uhr Vorträge  
12:20-13:30 Uhr Mittagspause  
13:30-15:30 Uhr Plenarvortrag und Abschlussveranstaltung (Gaede Hörsaal)

## **Besondere Termine**

FKPE Sitzung (auf Einladung)

Sonntag, 9. März 2014, 09:00–18:00 Uhr (GPI, Westhochschule)

Sitzungen der Arbeitskreise

Dienstag, 11. März 2014, nach Vereinbarung zw. 17:30 und 18:30 Uhr

„Meet & Greet“-Frühstück für Geophysikerinnen und Geophysikstudentinnen

Dienstag, 11. März 2014, 07:30-09:00 Uhr im Forstlichen Bildungszentrum, Karlsruhe

DGG-Vorstandssitzungen (auf Einladung)

Dienstag, 11. März 2014, 09:00-13:30 Uhr

Donnerstag, 13. März 2014, 15:30-16:30 Uhr

DGG Mitgliederversammlung

Mittwoch, 12. März 2014, 17:30-19:00 Uhr

## **Sessions: Übersicht**

S1	Rifting
S2	Wellenforminversion
S3	Schwerefeld und Schweremessung
S4	Geothermie
AR	Archäogeophysik
BL	Bohrlochgeophysik
EM	Elektromagnetik/Georadar
EX	Extraterrestrische Physik
GF	Geodäsie/Fernerkundung
GD	Geodynamik
GE	Geoelektrik
GO	Geophysik in der Öffentlichkeit/Outreach
GS	Geschichte der Geophysik
GT	Geothermie/Radiometrie
MA	Magnetik/Erdmagnetismus
MG	Marine Geophysik
MI	Modellierung und Imaging
SE	Seismik
SO	Seismologie
UI	Umwelt- und Ingenieurgeophysik
VU	Vulkanologie

**Geoelektrik • Seismik • Elektromagnetik  
Georadar • Erschütterungsmonitoring • Magnetik**

Vertriebspartner der



ABEM Instrument AB



**WASSER  
UMWELT  
INFRASTRUKTUR  
ENERGIE  
BAUWERKE  
GEOTECHNIK**

**CDM  
Smith®**  
cdmsmith.com

**listen. think. deliver.**

CDM Smith Consult GmbH  
Motostraße 5  
70499 Stuttgart  
tel: 0711 83076-0

# Sessions - Tabellenübersicht

Montag, 10. März 2014

Gaede HS	Lehmann HS	HS A	HS B	NTI	Uhrzeit
<b>S2</b> Wellenform- inversion	<b>S4</b> Geothermie		<b>AR</b> Archäo- geophysik		10:30-10:50
					10:50-11:10
		<b>BL</b> Bohrloch- geophysik	<b>UI</b> Umwelt- und Ingenieur- geophysik		11:10-11:30
					11:30-11:50
					11:50-12:10
<b>Mittagspause</b>				12:10-13:00	
Plenarvortrag				13:00-14:00	
<b>Eröffnungsveranstaltung im Gerthsen Hörsaal</b>					14:00- ca. 16:30
<b>Eröffnung der Firmenausstellung (Geb.30.22)</b>					Im Anschluss
<b>Studentischer Abend (im Z10)</b>					ab 19:00

Dienstag, 11. März 2014

Gaede HS	Lehmann HS	HS A	HS B	NTI	Uhrzeit
Meet & Greet Frühstück für Geophysikerinnen im Forstl. Bildungszentrum					07:30-09:00
SO Seismologie	S4 Geothermie	GD Geodynamik	UI Umwelt- und Ingenieur- geophysik	GE Geoelektrik	09:00-09:20
					09:20-09:40
					09:40-10:00
					10:00-10:20
Kaffeepause					10:20-10:40
SO Seismologie	S4 Geothermie	S2 Wellenform- inversion	GF Geodäsie/ Fernerkundung	GE Geoelektrik	10:40-11:00
			S1 Rifting		11:00-11:20
					11:20-11:40
					11:40-12:00
	12:00-12:20				
Mittagspause					12:20-13:30
Plenarvortrag					13:30-14:30
GS Geschichte der Geophysik	S4 Geothermie	S2 Wellenform- inversion	S1 Rifting	GE Geoelektrik	14:30-14:50
SO Seismologie				EX Extraterre- strische Physik	14:50-15:10
					15:10-15:30
					15:30-15:50
Pause					15:50-16:00
Postersession und Kaffeepause					16:00-18:00
Pause					18:00-19:00
Gesellschaftsabend im ZKM					ab 19:00



### Mittwoch, 12. März 2014

Gaede HS	Lehmann HS	HS A	HS B	NTI	Uhrzeit
<b>SO</b> Seismologie	<i>DGG</i> <i>Kolloquium</i>	<b>MA</b> Magnetik	<b>MI</b> Modellierung u. Imaging	<b>MG</b> Marine Geophysik	09:00-09:20
					09:20-09:40
					09:40-10:00
					10:00-10:20
<b>Kaffeepause</b>					10:20-10:40
<b>SO</b> Seismologie	<i>DGG</i> <i>Kolloquium</i>	<b>EM</b> Elektro- magnetik	<b>MI</b> Modellierung u. Imaging	<b>MG</b> Marine Geophysik	10:40-11:00
			<b>SE</b> Seismik		11:00-11:20
					11:20-11:40
					11:40-12:00
					12:00-12:20
<b>Mittagspause</b>					12:20-13:30
<b>Plenarvortrag</b>					13:30-14:30
<b>SO</b> Seismologie	<b>S4</b> Geothermie	<b>EM</b> Elektro- magnetik	<b>SE</b> Seismik	<b>S3</b> Schwerefeld u. Schweremes- sung	14:30-14:50
	<b>GO</b> Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach				14:50-15:10
					15:10-15:30
					15:30-15:50
<b>Pause</b>					15:50-16:00
<b>Postersession und Kaffeepause</b>					16:00-17:30
<b>Mitglieder- versammlung</b>					17:30-19:00
<b>Öffentlicher Abendvortrag im Gerthsen Hörsaal</b>					20:00-21:00

### Donnerstag, 13. März 2014

Gaede HS	Lehmann HS	HS A	HS B	NTI	Uhrzeit
<b>SO</b> Seismologie	<b>S3</b> Schwerefeld u. Schwere- messung	<b>EM</b> Elektro- magnetik	<b>SE</b> Seismik		09:00-09:20
					09:20-09:40
					09:40-10:00
					10:00-10:20
Kaffeepause					10:20-10:40
<b>SO</b> Seismologie	<b>S3</b> Schwerefeld u. Schwere- messung	<b>EM</b> Elektro- magnetik	<b>SE</b> Seismik		10:40-11:00
					11:00-11:20
					11:20-11:40
	11:40-12:00				
					12:00-12:20
Mittagspause					12:20-13:30
Plenarvortrag					13:30-14:30
Abschluss- veranstaltung					14:30-15:30



### **NTK "DIOGEN"**

Development and manufacture of the geophysical equipment by series and to order. 25 years in the market of the geophysical equipment. NTK "Diogen" is formed in 1989. From the very beginning main directions of works were development and release of the modern portable geophysical equipment for realization of engineering and hydro-geological researches. This line we continue and now. All equipment is carried out at a modern level with application of advanced element base. Hundred percents of devices are made with application of microprocessor engineering. The basic directions of our works – seismographs and geoelectrical products. The portable geophysical devices for ecological researches are in made by the orders, for example, definition of a thermal background of district raised contents of salts on a surface of ground and biological pollution of ground. Our geophysical equipment successfully works on all Russia and countries of near foreign countries. Our Customers are such organizations as the organizations spending researches on Olympic objects of Sochi, the private and state companies. In NTK "Diogen" the highly skilled experts work in the field of geophysics and radioelectronics, microprocessor engineering. All of them the graduates the MGRI (now University) and special institutes.

Our geophysical equipment allows effectively and economically to decide the majority of tasks in engineering researches.

Russia, Moscow, NTK "Diogen" Tel.: +7 (495) 629-94-69,

+7 (916) 438-02-19 Site: [www.ntkdiogen.ru](http://www.ntkdiogen.ru)

E-mail: [diogen@mail.cnt.ru](mailto:diogen@mail.cnt.ru) [ntkdiogen48@mail.ru](mailto:ntkdiogen48@mail.ru)

## Übersicht Vorträge und Poster

**Montag, 10. März 2014**

AR - Archäogeophysik

BL - Bohrlochgeophysik

S2 - Wellenforminversion

S4 - Geothermie

UI – Umwelt- und Ingenieurgeophysik

## **PV Plenarvortrag**

Montag, 10. März 2014  
13:00-14:00  
Raum: Gaede HS

---

### **PV 0.001**

**Claim for seismic "weather forecasting" and comprehensive data investigation for geothermal projects**

T. Kohl

Montag, 10. März 2014  
Eröffnungsveranstaltung  
Raum: Gerthsen HS

---

### ***Endlagersuche für Nuklearabfälle – eine Herausforderung für Wissenschaft und Gesellschaft***

M. Sailer

## **S2 – Wellenforminversion**

Montag, 10. März 2014  
10:30 - 12:10  
Raum: Gaede HS

---

10:30 - 10:50 **S2-1.001**

**Combined inversion of broad-band and short-period waveforms for regional seismic moment tensors**

S. Donner, F. Krüger, D. Rößler, A. Ghods

10:50 - 11:10 **S2-1.002**

**Attenuation and scattering tomography of the deep plumbing system of Mount St. Helens**

L. De Siena, G.P. Waite, S. Moran, S. Klemme, C. Thomas

11:10 - 11:30 **S2-1.003**

**Monitoring von elastischen und petrophysikalischen Materialparametern eines porösen Gas-Speichers mit einer 2D-Wellenformtomographie**

D. Köhn, S.A. al Hagrey, W. Rabbel

11:30 - 11:50 **S2-1.004**

**High resolution velocity and attenuation characterisation of aquifers using crosshole GPR full-waveform inversion**

A. Klotzsche, J. van der Kruk, H. Vereecken

11:50 - 12:10 **S2-1.005**

**Combined frequency- and time-domain full-waveform inversion of cross-hole GPR data**

X. Yang, J. van der Kruk, A. Klotzsche, H. Vereecken

## **S4 - Geothermie**

Montag, 10. März 2014

10:30 - 12:10

Raum: Lehmann HS

---

10:30 - 10:50 **S4-1.001**

**Seismische Gefährdung aufgrund induzierter Seismizität bei der tiefen Geothermie**

T. Spies, J. Schlittenhardt, J. Kopera, W. Morales

10:50 - 11:10 **S4-1.002**

**Seismizität im Umfeld der Erdgasfelder von Völkersen und Söhlingen - auf der Suche nach nicht spürbaren seismischen Ereignissen**

N. Gestermann, T. Plenefisch, L. Ceranna

11:10 - 11:30 **S4-1.003 >>>>verlegt nach Dienstag, 12:00-12:20<<<<<**

**Wurden die Erdbeben in 2012 in Emilia Romagna (20.05 Mw 6 and 29.05 Mw 5.8), Italien, durch die Ölförderung ausgelöst?**

T. Dahm, S. Cesca, T. Braun

11:30 - 11:50 **S4-1.004**

**Are the seismogenic responses of the Soultz and the Groß Schönebeck enhanced geothermal fields understood?**

E. Gaucher, T. Kohl

11:50 - 12:10 **S4-1.005**

**Induced seismicity mechanisms at The Geysers geothermal field from the analysis of stress field variations related to fluid injection**

P. Martínez - Garzón, M. Bohnhoff, G. Kwiatek, G. Dresen, C. Hartline

## **BL - Bohrlochgeophysik**

Montag, 10. März 2014

10:50 - 12:10

Raum: HS A

---

10:50 - 11:10 **BL-1.001**

**Hochauflösende VSP-Testmessung in der KTB-Vorbohrung**

F. Krauß, R. Giese, J. Kück, M. Töpfer, M. Groh, K. Krüger, K. Fritsch, A. Jurczyk

11:10 - 11:30 **BL-1.002**

**Fractal Dimension of Pore Space Geometry of a Tertiary Sandstone Formation**

Z. Zhang, A. Weller

11:30 - 11:50 **BL-1.003**

**Bestimmung der Magnetisierungsrichtung aus dreikomponentigen Magnetfeldmessungen in tiefen Bohrungen**

S. Ehmann, A. Hördt, C. Virgil, M. Leven

11:50 - 12:10 **BL-1.004**

**3-Komponentige Magnetfeldmessung in der Bohrung Schotten/ Sichenhausen: Inversion und Ergebnisse**

M. Neuhaus, S. Ehmann, C. Virgil, A. Hördt, M. Leven, E. Steveling

## **AR - Archäogeophysik**

Montag, 10. März 2014  
10:30 - 11:10  
Raum: HS B

---

10:30 - 10:50 **AR-1.001**

**Durchführung und Auswertung von geophysikalischen Messungen auf der archäologischen Fundstelle Elusa (Israel)**

N. Pickartz, B. Tezkan, M. Heinzelmann

10:50 - 11:10 **AR-1.002**

**Untersuchung der geophysikalischen Detektierbarkeit von Torfhäusern auf Island**

T. Wunderlich, D. Wilken, J. Andersen, W. Rabbel, D. Zori, S. Kalmring, J. Byock

## **UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik**

Montag, 10. März 2014  
11:10 - 12:10  
Raum: HS B

---

11:10 - 11:30 **UI-1.001**

**The acoustic fingerprint of sediment bedload transport : Application of a new methodology in quantitative fluvial geomorphology.**

J. Barrière, A. Oth, A. Krein

11:30 - 11:50 **UI-1.002**

**Salzhaldentomographie - Geophysikalische Untersuchungen und Modellierungen für die Schwachstellenanalyse einer Kalirückstandshalde**

K. Dünnbier, T. Schicht, K. Thiemann, J. Confal, F. Börner

11:50 - 12:10 **UI-1.003**

**Detektion verlassener Bergbaustrukturen mithilfe von VLF-Grad und RMT**

M. Gurk, F. Bosch



## Übersicht Vorträge und Poster

**Dienstag, 11. März 2014**

S1 – Rifting  
S2 – Wellenforminversion  
S4 – Geothermie  
AR - Archäogeophysik  
BL - Bohrlochgeophysik  
EX – Extraterrestrische Physik  
GD - Geodynamik  
GE - Geoelektrik  
GF – Geodäsie/Fernerkundung  
GS – Geschichte der Geophysik  
GD – Geodynamik  
SO – Seismologie  
UI – Umwelt- und Ingenieurgeophysik

## **PV Plenarvortrag**

Dienstag, 11. März 2014  
13:30-14:30  
Raum: Gaede HS

---

### **PV 0.002**

#### **Ocean Spreading - is the present the key to the past?**

C. Devey.

## **S1 - Rifting**

Dienstag, 11. März 2014  
11:00 - 12:20  
Raum: HS B

---

11:00 - 11:20 **S1-1.001**

#### **The Deep Structure of the Afro-Arabian Rift System**

J. Mechie

11:20 - 11:40 **S1-1.002**

#### **Application of P and S receiver functions to investigate crustal and upper mantle structures beneath the Albertine branch of the East African Rift System**

M. Gummert, M. Lindenfeld, I. Wölbern, G. Rümper

11:40 - 12:00 **S1-1.003**

#### **High velocity lower crust of the South Atlantic rifted margins and its relation to the break-up process**

K. Becker, D. Franke, R. Trumbull, M. Schnabel, I. Heyde, B. Schreckenberger, H. Koopmann, K. Bauer, W. Jokat, C.M. Krawczyk

12:00 - 12:20 **S1-1.004**

#### **Rifting processes at ultraslow mid-ocean ridges**

V. Schlindwein, A. Demuth, E. Korger

Dienstag, 11. März 2014  
14:30 - 15:50  
Raum: HS B

---

14:30 - 14:50 **S1-2.001**

#### **Late Variscan controls on the location of the asymmetric Upper Rhine Graben and the active trailing edge of a SW-moving lithospheric block**

J.C. Grimmer, G.H. Eisbacher, W. Fielitz, J.R.R. Ritter

14:50 - 15:10 **S1-2.002**

#### **Recent Surface Displacements in the Upper Rhine Graben Area Derived from Precise Levelling and SAR Interferometry**

T. Fuhrmann, A. Schenk, M. Westerhaus, K. Zippelt, B. Heck

15:10 - 15:30 **S1-2.003**

#### **Intraplate Tectonics and Seismic Deformation in the Upper Rhine Graben: Constraint of a Seismic Gap**

M. Meghraoui, C. Doubre, S. Lambotte, F. Masson

15:30 - 15:50 **S1-2.004**

**The mantle below the Upper Rhine Graben: What we know and what we don't know**

J. Ritter

## **S2 - Wellenforminversion**

Dienstag, 11.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: HS A

---

10:40 - 11:00 **S2-2.001**

**Full Waveform Inversion in kristallinen Festgestein: Dekonvolution der Empfängercharakteristik**

S. Heider, S. Jetschny, R. Giese, T. Bohlen

11:00 - 11:20 **S2-2.002**

**Benefits of long offsets for the Full Waveform Inversion**

S. Jetschny, A. Goertz, M.W. Pedersen, S. Kelly, B. Tsimelzon, A.V. Mavilio, A. Day

11:20 - 11:40 **S2-2.003**

**Anwendung einer elastischen 2D Wellenformtomographie auf oberflächennahe SH-Wellendaten**

E. Dokter, D. Köhn, D. Wilken, W. Rabbel

11:40 - 12:00 **S2-2.004**

**Anwendung einer (visko)elastischen 2D Rayleighwellenforminversion auf Ultraschalldaten**

D. Köhn, T. Meier

12:00 - 12:20 **S2-2.005**

**Anwendung der 2D Wellenforminversion auf flachseismische Rayleighwellen - Feldbeispiel Mammolshain**

M. Schäfer, L. Groos, T. Forbriger, T. Bohlen

Dienstag, 11.März 2014

14:30 - 15:50

Raum: HS A

---

14:30 - 14:50 **S2-3.001**

**Modularized seismic full waveform inversion based on waveform sensitivity kernels - The software package ASKI**

F. Schumacher, W. Friederich

14:50 - 15:10 **S2-3.002**

**Diagonal Hessian approximation for preconditioning in 3D elastic full waveform inversion**

S. Butzer, A. Kurzmann, T. Bohlen

15:10 - 15:30 **S2-3.003**

**Seismische 3D Wellenforminversion in triklin anisotropen Medien**

D. Köhn, O. Hellwig, D. De Nil, W. Rabbel

15:30 - 15:50 **S2-3.004**

**3D field applications of Full Waveform Inversion for enhanced imaging**

A. Ratcliffe, G. Conroy, N. Vieira da Silva, V. Vinje, R. Jupp, R. Wombell, S. Mothi, T. Hertweck

## **S4 - Geothermie**

Dienstag, 11.März 2014

09:00 - 10:20

Raum: Lehmann HS

---

09:00 - 09:20 **S4-2.001**

**The localization of weak alteration zones in granitic reservoir rocks**

C. Meller, T. Kohl

09:20 - 09:40 **S4-2.002**

**High-resolution reservoir characterization using induced seismicity and state-of-the-art waveform processing techniques**

G. Kwiatek, M. Bohnhoff, P. Martínez - Garzón, F. Bulut, G. Dresen

09:40 - 10:00 **S4-2.003**

**High-precision relocation of induced seismicity in the geothermal system below St. Gallen (Switzerland)**

T. Diehl, T. Kraft, E. Kissling, N. Deichmann, S. Wiemer, J. Clinton, F. Waldhauser

10:00 - 10:20 **S4-2.004**

**Change of stress regime during geothermal reservoir stimulation**

M. Schoenball, L. Dorbath, E. Gaucher, J.F. Wellmann, T. Kohl

Dienstag, 11.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: Lehmann HS

---

10:40 - 11:00 **S4-3.001**

**Seismic investigations of a geothermal field in Southern Tuscany, Italy**

M. Riedel, C. Alexandrakis, S. Buske

11:00 - 11:20 **S4-3.002**

**3D seismische Exploration im Kristallin für das sächsische Tiefengeothermieprojekt bei Schneeberg im Westerzgebirge**

O. Hellwig, F. Hlousek, S. Buske

11:20 - 11:40 **S4-3.003**

**3D-Seismik für die petrothermale Geothermie im Erzgebirge zeigt reichhaltiges Strukturinventar im Granit**

E. Lüschen, H. von Hartmann, R. Thomas, R. Schulz

11:40 - 12:00 **S4-3.004**

**Elektromagnetische Explorations- und Überwachungsmethoden in der Geothermie - Ein virtuelles transientelektromagnetisches Experiment am Roten Kamm bei Schneeberg (Sachsen)**

J. Börner, M. Bär, K. Spitzer

11:10 - 11:30 **S4-1.003 (verlegt von Montag)**

**Wurden die Erdbeben in 2012 in Emilia Romagna (20.05 Mw 6 and 29.05 Mw 5.8), Italien, durch die Ölförderung ausgelöst?**

T. Dahm, S. Cesca, T. Braun

Dienstag, 11.März 2014  
14:30 - 15:50  
Raum: Lehmann HS

---

14:30 - 14:50 **S4-4.001**

**Characterisation of geothermally relevant basement structures by FE gravity forward modelling**

Y. Abdelfettah, E. Schill, P. Kuhn

14:50 - 15:10 **S4-4.002**

**Evaluation of the geothermal energy potential of a reservoir in Southern Italy**

J. Niederau, A. Ebigbo, G. Marquart, R. Pechinig, C. Clauser

15:10 - 15:30 **S4-4.003**

**On the impact of spatial heterogeneous permeability distributions on the development of free convection cells in the Perth Basin, Australia.**

J. Niederau, A. Ebigbo, G. Marquart, C. Clauser

15:30 - 15:50 **S4-4.004**

**Entwicklung eines numerischen Werkzeugs zur Rissausbreitung und erster Abgleich mit hydraulischen Spaltversuchen im Labor**

C. Clauser, K. Willbrand, P. Siebert, N. Weber, T. Fries, M. Feinendegen, M. Ziegler

## **EX - Extraterrestrische Physik**

Dienstag, 11.März 2014  
14:50 - 15:50  
Raum: NTI HS

---

14:50 - 15:10 **EX-1.001**

**Das Induzierte Magnetfeld beim Planeten Merkur**

D. Heyner

15:10 - 15:30 **EX-1.002**

**Planetare Magnetfelder: Trennung externer und interner Anteile mit einem Adjungierten-Verfahren**

C. Nabert, C. Othmer, K.-H. Glaßmeier, D. Heyner

15:30 - 15:50 **EX-1.003**

**Establishing a 'Global Ionospheric Flare Detection System' (GIFDS)**

D. Wenzel, N. Jakowski, J. Berdermann

## **GD - Geodynamik**

Dienstag, 11.März 2014  
09:00 - 10:20  
Raum: HS A

---

09:00 - 09:20 **GD-1.001**

**Modelling komatiitic melt accumulation and segregation in the transition zone**

H. Schmeling, N. Arndt, S. Kohl

09:20 - 09:40 **GD-1.002**

**Modellierung der Evolution chemischer Reservoirs unterschiedlicher Dichte in 2D-Mantelkonvektion**

A. Ossipov, H. Schmeling, M. Beuchert

09:40 - 10:00 **GD-1.003**

**Eine porositätsabhängige, semianalytische Viskositätsformulierung für partiell geschmolzene Gesteine mit komplexer Schmelzgeometrievertelung**

J.P. Kruse, H. Schmeling

10:00 - 10:20 **GD-1.004**

**Constraining the rheology of the lithosphere through joint geodynamic and gravity inversion**

T. Baumann, B. Kaus, A. Popov

**GE - Geoelektrik/ IP**

Dienstag, 11.März 2014

09:00 - 10:20

Raum: NTI HS

---

09:00 - 09:20 **GE-1.001**

**Induzierte Polarisation: Erklärung durch empirische oder mechanistische Modelle?**

A. Weller, L. Slater

09:20 - 09:40 **GE-1.002**

**Untersuchung des Einflusses der Porenhalssgröße auf SIP-Spektren**

S. Kruschwitz, E. Niederleithinger

09:40 - 10:00 **GE-1.003**

**Messungen der Temperaturabhängigkeit der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) zur Charakterisierung der Polarisationsmechanismen in Gesteinen**

K. Bairlein, M. Bucker, A. Hördt, S. Nordsiek

10:00 - 10:20 **GE-1.004**

**3D IP Inversionsprogramm im Zeitbereich: Synthetische Studien und Feldmessungen**

H. Großbach, B. Tezkan

Dienstag, 11.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: NTI HS

---

10:40 - 11:00 **GE-2.001**

**Zum Nachweis einer elektrischen Widerstandsanisotropie mit Bipol-Quadrupol Geoelektrik Messungen an einem geschieferten Untergrund**

A. Rödder, A. Junge

11:00 - 11:20 **GE-2.002**

**Ein optimiertes Langelektroden-Geoelektrik-Experiment zur großskaligen 3D-Abbildung von Salzwasser-Aufstieg**

M. Ronczka, T. Günther

11:20 - 11:40 **GE-2.003**

**Die breitbandige Temperaturabhängigkeit der komplexen elektrischen Leitfähigkeit für Lockermaterialien mit variablem Tongehalt**

A. Treichel, A. Binley, A. Kemna, O. Esser, E. Zimmermann, H. Vereecken, J.A. Huisman

11:40 - 12:00 **GE-2.004**

**Geoelektrische Modellierung zur Charakterisierung eines Grundwasserleiters**

R. Meyer, M. Sauter, A. Weller

12:00 - 12:20 **GE-2.005**

**A New Numerical Pore-Scale Model of Membrane Polarisation**

S. Undorf, A. Kemna, M. Bucker

Dienstag, 11.März 2014

14:30 - 14:50

Raum: NTI HS

---

14:30 - 14:50 **GE-3.001**

**Laboruntersuchungen zur komplexen Leitfähigkeit an Metall-Quarzsand-Gemischen**

S. Hupfer, T. Martin, K. Kuhn, U. Noell

### ***GF - Geodäsie/ Fernerkundung***

Dienstag, 11.März 2014

10:40 - 11:00

Raum: HS B

---

10:40 - 11:00 **GF-1.001**

**Erfassung der Oberflächendynamik an der Super-Sauze Hangrutschung zur Analyse von slidequakes**

S. Rothmund, M. Joswig

### ***GS - Geschichte der Geophysik***

Dienstag, 11.März 2014

14:30 - 15:10

Raum: Gaede HS

---

14:30 - 14:50 **GS-1.001**

**Die Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V. von 1923 bis 1951**

F. Jacobs, H. Neunhöfer

14:50 - 15:10 **GS-1.002**

**Physik der Erde und Allgemeiner Vulkanismus bei A. v. Humboldt - Revision von grober Vereinfachung und Fehldeutung in der neueren Forschung**

J. Fertig, E. Oeser



## **SO - Seismologie**

Dienstag, 11.März 2014

09:00 - 10:20

Raum: Gaede HS

---

09:00 - 09:20 **SO-1.001**

**Der Deutsche Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS)**

M. Schmidt-Aursch

09:20 - 09:40 **SO-1.002**

**Inkohärente Arrayanalyse zur Untersuchung von Po/So Phasen in der ozeanischen Lithosphäre im Nordost-Atlantik mit Registrierungen des DOCTAR Tiefsee-Arrays**

F. Krüger, T. Dahm, K. Hannemann

09:40 - 10:00 **SO-1.003**

**Erdbebensignale auf MT-Stationen und ihre Übertragungsfunktionen**

L. Dzianan, M. Thorwart, W. Rabbel

10:00 - 10:20 **SO-1.004**

**Breitbandiger Seismometervergleich - Auswertung eines Huddle Tests am BFO**

S. Mader, R. Widmer-Schmidrig

Dienstag, 11.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: Gaede HS

---

10:40 - 11:00 **SO-2.001**

**Tomography in West Bohemia: A comparison of the velocity structures imaged from recurring microseismic swarms**

C. Alexandrakakis, M. Calo, V. Vavrycuk

11:00 - 11:20 **SO-2.002**

**Abbild von P- zu S-Wellengeschwindigkeitsverhältnissen in der Nord-Chilenischen Subduktionszone**

N.W. Bloch, J. Kummerow, P. Wigger, S.A. Shapiro

11:20 - 11:40 **SO-2.003**

**Investigation of upper mantle seismic discontinuities beneath the North Atlantic: the Azores, Canary and Cap Verde plumes**

M. Saki, C. Thomas, S. Nippess, S. Lessing

11:40 - 12:00 **SO-2.004**

**Kartierung rezenter Tektonik im Mont Terri Felslabor**

P. Blascheck, M. Joswig

12:00 - 12:20 **SO-2.005**

**Fresnel zone imaging of receiver functions**

N. Mullick, S. Buske

Dienstag, 11.März 2014  
15:10 - 15:50  
Raum: Gaede HS

---

15:10 - 15:30 **SO-3.001**

**The 100th anniversary of the identification of seismic core phases and the definition of the Core-Mantle Boundary (CMB) by Beno Gutenberg**

J. Schweitzer

15:30 - 15:50 **SO-3.002**

**Das angebliche Schadenbeben von Köln am 24. Oktober 1841 – Geschichte einer Verwechslung**

K. Lehmann, G. Leydecker

### ***UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik***

Dienstag, 11.März 2014  
09:00 - 10:20  
Raum: HS B

---

09:00 - 09:20 **UI-2.001**

**Eingebettete Ultraschall-Sensoren zur Dauerüberwachung von Betonbauteilen**

J. Wolf, F. Mielentz, H. Wiggerhauser

09:20 - 09:40 **UI-2.002**

**Geophysikalische Erkundungen zur Rohstoffabschätzung stillgelegter Bergbauhalden**

T. Martin, R. Knieß, U. Noell, K. Kuhn, T. Günther

09:40 - 10:00 **UI-2.003**

**Seismic time-lapse travel-time and attenuation tomography to characterize changes of the excavation damaged zone around underground galleries**

F. Krauß, S. Buske, C. Alexandrakis, R. Giese

10:00 - 10:20 **UI-2.004**

**Anwendung der Reverse Time Migration auf Ultraschall-Echo-Messungen in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen**

S. Müller, E. Niederleithinger

## Postersession

Dienstag, 11. März 2014  
16:00-18:00  
Geb. 30.22

---

### ***S1 – Rifting (Poster)***

#### **S1-P.001**

**Modeling continental rifting with melting and melt extraction: Testing various mechanisms controlling the depth of the intrusion level**

H. Wallner, H. Schmeling

### ***S2 – Wellenforminversion (Poster)***

#### **S2-P.001**

**The OpenTOAST initiative**

T. Forbriger, T. Bohlen, S. Butzer, L. Groos, S. Mauerberger, M. Schäfer, and the TOAST-project team

#### **S2-P.002**

**Application of 3D acoustic full waveform tomography to a synthetic reflection experiment: a comparative study**

A. Kurzmann, S. Butzer, T. Bohlen

#### **S2-P.003**

**Seismic Velocities and Attenuation of Rock Samples from Inversion of Ultrasonic Waveforms**

M.S. Boxberg, L. Lambrecht, W. Friederich

#### **S2-P.004**

**Forward modeling and waveform inversion of ultrasonic waveforms**

M. Fehr, D. Köhn, T. Meier

#### **S2-P.005**

**Multi-scale reasonable attenuation tomography analysis (MuRAT): an imaging algorithm designed for volcanic regions**

L. De Siena, C. Thomas, R. Aster

#### **S2-P.006**

**Mapping the heterogeneous structures inducing seismic resonance at Mount St. Helens volcano**

L. De Siena, M. Calvet, C. Thomas

#### **S2-P.007**

**Seismotectonic implications for the Alborz mountains, N Iran, from regional seismic moment tensors**

S. Donner, F. Krüger, D. Rößler, A. Ghods, A. Landgraf, P. Ballato

#### **S2-P.008**

**Full-waveform inversion of crosshole GPR data acquired at the Krauthausen test site**

N. Güting, A. Klotzsche, C. Hyatt, A. Englert, J. Vanderborght, H. Vereecken, J. van der Kruk

**S2-P.009**

**Monitoring von Gaskavernen mit elastischer Wellenforminversion, mikroseismischen, elektrischen und gravimetrischen Verfahren**

D. Köhn, S.A. al Hagrey, D. De Nil, W. Rabbel

**S2-P.010**

**Detektion von oberflächennahen Hohlräumen mit einer elastischen 2D SH-Wellenformtomographie - eine Auflösungsstudie**

E. Dokter, D. Köhn, W. Rabbel

**S2-P.011**

**Combined seismic and geoelectrical monitoring and quantification of CO<sub>2</sub> geostorage**

D. Köhn, S.A. al Hagrey, K. Benisch, W. Rabbel, S. Bauer

**S4 –Geothermie (Poster)****S4-P.001**

**Varianzanalysen seismischer Daten des kristallinen Untergrundes zur Abbildung von Störungen**

H. von Hartmann, H. Bunes, E. Lüschen, R. Thomas, R. Schulz

**S4-P.002**

**Laboruntersuchungen zur Bestimmung verschiedener Einflussgrößen auf den elektrischen Widerstand und die Wärmeleitfähigkeit von Lockersedimenten**

L. Firmbach, P. Dietrich, T. Vienken

**S4-P.003**

**Einfluss von Anisotropie und Heterogenität auf das Temperaturfeld in der Umgebung einer Erdwärmesonde**

F. Dinsel, T. Ballhause, C. Rücker, F. Börner

**S4-P.004**

**Reflection seismic experiments at the geothermal field Wayang Windu, Indonesia**

W. Wiyono, U. Polom, B. Pramono, C.M. Krawczyk

**S4-P.005**

**Automatische Ereignisdetektion und Gefährdungsabschätzung unter SeisCompP3 am Beispiel der Geothermieprojekte Insheim und Basel**

M. Vasterling, U. Wegler, M. Bischoff, C. Dinske, M. Hoffmann, J. Becker

**S4-P.006**

**Modelling Damage Evolution during Stimulation of a Geothermal Reservoir**

S. Abe, A. Karrech, K. Regenauer-Lieb, H. Deckert

**S4-P.007**

**Eingrenzung der Rissausbreitung auf Basis von Temperaturmessungen im GeneSys-Projekt**

D. Rebscher, E. Pechan, T. Tischner

**S4-P.008**

**Reprocessing and depth migration of seismic reflection data from a geothermal field in Southern Tuscany**

C. Dutsch, M. Riedel, C. Alexandrakis, S. Buske

**S4-P.009****TEM and MT Surface Exploration at the Ngozi geothermal prospect, Tanzania.**

N. Ochmann, K. Garofalo, S. Chiragwile

**AR – Archäogeophysik (Poster)****AR-P.001****Vergleichende Untersuchung der Messgenauigkeit von Cäsium-, Overhauser- und Fluxgate-Magnetometern unter Feldbedingungen**

A. Fediuk, E. Erkul, T. Wunderlich, W. Rabbel

**AR-P.002****Geophysikalische Prospektion eines eisenzeitlichen Gräberfeldes bei Nonnweiler, Saarland**

V. Schmidt, R. Gleser, T. Fritsch

**AR-P.003****Archaeo-geophysical studies at neolithic to early medieval settlements in Paschkowitz/Mügeln (Saxony)**

S. Schwerdtle, F. Schleiffer, C. Flehsig, A. Schmidt

**BL – Bohrlochgeophysik (Poster)****BL-P.001****Wellenfeldtrennung bei bohrlochakustischen Datensätzen**

S. Hellmann, T.W. Geerits, O. Hellwig

**BL-P.002****Neue bohrlochgeophysikalische Daten aus der INFLUINS Forschungsbohrung im Zentrum des Thüringer Beckens**

P. Methe, A. Goepel, N. Kukowski

**BL-P.003****NMR-Relaxation bei Teilsättigung unter Berücksichtigung von fast- und slow-diffusion**

S. Costabel, M. Müller-Petke

**BL-P.004****Entwicklung einer Messzelle zur kombinierten Messung von SIP und NMR, Kapillardruck, sowie gesättigter und ungesättigter hydraulischer Leitfähigkeit**

S. Costabel, S. Hupfer, T. Martin, U. Noell

**GD – Geodynamik (Poster)****GD-P.001****Symmetric versus asymmetric spreading and rifting: The role of visco-plasticity and viscosity dissipation**

H. Maul, A. Scarcella, H. Schmeling, C. Weismüller

**GD-P.002****On the study of the passive margins from the Satellite gravity signals**

P. Haas, M. Shahraki, H. Schmeling

**GD-P.003****Fallstudie über Fluid-induzierte Deformationen**

C. Salomon, T. Jahr, F. Bleibinhaus

**GD-P.004****Discontinuous Galerkin Approaches for Stokes Flow and Flow in Porous Media**

R. Lehmann, B. Kaus, M. Lukáčová-Medvid'ová

**GE - Geoelektrik/ IP (Poster)****GE-P.001****Kapazitive Geoelektrik- Erste Feldmessungen auf der Zugspitze (Deutsche/Österreichische Alpen)**

A. Przyklenk, A. Hördt

**GE-P.002****Geoelektrische Erkundung eines Löss-Körpers bei Remagen**

S. Wichert, B. Tezkan, P. Fischer

**GE-P.003****Entwicklung einer 2D FE Vorwärtsrechnung für DCR/IP und RMT mit unstrukturiertem Gitter und Ergebnisse der Feldmessungen auf einem Erzkörper in der Türkei 2013**

J. Adrian, B. Tezkan, M.E. Candansayar

**GE-P.004****Dynamische Widerstandstomographie von Soil Aquifer Treatment für verbessertes Management der künstlichen Grundwasseranreicherung in Israel**

K. Haaken, A. Furman, N. Weisbrod, A. Kemna

**GE-P.005****Chameleon: Neuartiges multimethodisches Messsystem zur Messung der elektrischen Impedanz im Labor - und Feldmessstab.**

T. Radic

**GE-P.006****Anisotropic Inversion of Induced Polarisation (IP) Data**

J. Kenkel, A. Kemna

**GE-P.007****Abschätzung bodenhydrologischer Eigenschaften durch Parameter aus Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation**

S. Nordsiek, A. Hördt, E. Diamantopoulos, W. Durner

**GF -Geodäsie/ Fernerkundung (Poster)****GF-P.001****Using stacking to reduce site-specific errors and to improve quality of GNSS-based coordinate time series within GURN (GNSS Upper Rhine graben Network)**

A. Knöpfler, M. Mayer, B. Heck

## **SO – Seismologie (Poster)**

### **SO-P.001**

#### **Echtzeitbetrieb von stationären und mobilen Messstationen**

M. Hanneken, E. Wetzig, U. Stelling

### **SO-P.002**

#### **Testing the Lower Thresholds of Broadband Seismometers**

H. Rademacher, C. Guralp, M. McGowan, N. Pearce

### **SO-P.003**

#### **Sensitivity of modern broad-band seismometers at high frequencies - evaluation of a huddle test at BFO**

R. Widmer-Schmidrig, U. Schwaderer

### **SO-P.004**

#### **Ambient noise investigation in a German salt mine**

K. Thiemann, C. Sens-Schönfelder

### **SO-P.005**

#### **The threshold values of ambient seismic noise and surface geology**

D. Garus

### **SO-P.006**

#### **Einfluss von Windkraftanlagen auf seismologische Messungen**

P. Hall, C. Thomas, S. Ueding

### **SO-P.007**

#### **Monitoring of microseismicity within Elbe-Valley-Zone**

R. Mittag, F. Hänel

### **SO-P.008**

#### **High-resolution downhole microseismic monitoring in the Eastern Sea of Marmara, NW Turkey**

C. Raub, M. Bohnhoff, F. Bulut, G. Dresen, P.E. Malin, T. Kilic, R.F. Kartal, F.T. Kadirioglu, M. Nurlu, H. Ito

### **SO-P.009**

#### **Local earthquake location by traveltimes stacking: a case study from the Armutlu peninsula, NW Turkey**

T.S. Irmak, F. Grigoli, S. Cesca, B.-G. Lühr, D. Caka, B. Tunç, H. Woith, L.-J. Schumann, S. Baris, T. Dahm

### **SO-P.010**

#### **Segmentation of the North Anatolian Fault Zone in the broader Marmara region in NW Turkey**

M. Bohnhoff, G. Dresen, F. Bulut, C. Raub, M. Ickrath, T. Kilic, R.F. Kartal, F.T. Kadirioglu, M. Nurlu, P.E. Malin, H. Ito

### **SO-P.011**

#### **Imaging of material interfaces along the North Anatolian Fault Zone, Turkey, using near-fault seismic recordings**

B. Najdahmadi, F. Bulut, Y. Ben-Zion, M. Bohnhoff

### **SO-P.012**

#### **The Hawaiian plume displaced - Evidence from PLUME seismic data**

G. Laske, C.A. Rychert, R. Marzen



**SO-P.013****Regional and local observations of glacier seismicity on Spitsbergen, Svalbard: Icequakes and tidally-modulated tremors**

A. Köhler, C. Nuth, J. Schweitzer, C. Weidle

**SO-P.014****Validation and discrimination of ground-truth infrasound signals at regional distances using propagation modeling**

K. Koch, C. Pilger, F. Streicher, L. Ceranna

**SO-P.015****Investigation of the relationship between Vp/Vs ratio and probable fluid path-ways in west Bohemia**

S.S. Mousavi, K. Bauer, M. Korn

**SO-P.016****Investigation and monitoring of seismic velocity change related to earthquake swarms in West Bohemia/Vogtland**

M.J. Fallahi, M. Korn, C. Sens-Schönfelder

**SO-P.017****Schätzungen von Erdbebenschäden mit unvollständigen Beobachtungen**

M. Bachschmid, E. Gottschämmer, F. Wenzel

**SO-P.018****Residual Risk of Earthquakes for Buildings**

E. Frey, J. Daniell, E. Gottschämmer, H.-H. Tsang, F. Wenzel

**SO-P.019****Erdbebenschäden und deren Sensitivität bezüglich der Gefährdungsparameter**

A.-S. Reiß, E. Gottschämmer, J. Daniell, F. Wenzel

**SO-P.020****Globale Analyse von Erdbebenschäden auf Basis des CATDAT Kataloges**

A.-S. Reiß, J. Daniell, F. Wenzel

**SO-P.021****Integration von Katalogen mit historischer und instrumentell erfasster Seismizität für Deutschland in einer gemeinsamen Datenbank - Konzepte, Nutzungen und Produkte**

D. Bürk, D. Kaiser, G. Hartmann, U. Stelling, H. Schlote

**SO-P.022****Entwicklung einer paläoseismischen Datenbank für Deutschland und angrenzende Gebiete**

J. Hürtgen, T. Spies, J. Schlittenhardt, K. Reicherter

**SO-P.023****Out-of-plane reflections - are they evidence for deep subducted lithosphere?**

L. Schumacher, C. Thomas

**SO-P.024****Mantle transition zone structure beneath the Siberian craton from PP precursors**

S. Lessing, C. Thomas, S. Rost

**SO-P.025****Detection of the D'' discontinuity using GEOSCOPE stations and source arrays**

B. Heyn, C. Thomas, E. Stutzmann

**SO-P.026****Resolving regional D" structure**

S. Hempel, T. Nissen-Meyer, C. Thomas

**SO-P.027****Automatische Ereignisdetektion in Nordwestdeutschland**

M. Bischoff, L. Ceranna, N. Gestermann, G. Hartmann

**SO-P.028****Automated identification and timing of crustal phases for tomographic studies:  
Applications to the Marmara region, NW Turkey**

C. Wollin, M. Bohnhoff, L. Küperkoch

**SO-P.029****The 2013 seismic sequence close to the Castor project gas injection platform, offshore Spain**

S. Cesca, T. Dahm, F. Grigoli, S. Heimann, A. Gonzalez, E. Buforn, S. Maghsoudi, E. Blanch

**SO-P.030****D" observations in the Pacific from PLUME Ocean Bottom Seismometer recordings**

C. Thomas, G. Laske

**SO-P.031****Preprocessing of ocean bottom data with special emphasis on three component array applications and receiver function analysis**

K. Hannemann, F. Krüger, T. Dahm

**SO-P.032****COOL: Crust of the Oman Ophiolite and its Lithosphere - a passive seismic experiment**

C. Weidle, P. Agard, C. Ducassou, I. El-Hussain, C. Prigent, T. Meier

**SO-P.033****Synthetic seismogram web service and Python tools**

S. Heimann, S. Cesca, M. Kriegerowski, T. Dahm

**SO-P.034****The Source Inversion Validation Project: Uncertainty Quantification in Earthquake Source Inversions**

M. Mai, .. SIV-Team

**SO-P.035****Seismic implications of the kinetics of the reaction perovskite + ferropericlasite = ringwoodite**

S. Lessing, D.P. Dobson, L. Cobden, S. Rost, C. Thomas

**UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik (Poster)****UI-P.001****Akustische Emissionen im Sandstein Proben induziert durch Porenwasserdruckänderungen**

S. Mayr, F.-J. Fußek, S.A. Shapiro

**UI-P.002**

**Untersuchung zeitlicher Variationen geophysikalischer Parameter im Umfeld natürlicher CO<sub>2</sub>-Entgasungen**

U. Sauer, C. Schütze, C. Sandig, U. Serfling

**UI-P.003**

**Site-adapted nitrogen management based on subarea specific data processing**

T. Oberender, E. Lück, J. Rühlmann

**UI-P.004**

**Chemical state profiling in the vadose zone by *in situ*-obtained soil colours**

J. Hausmann, U. Werban, P. Dietrich

**UI-P.005**

**Calculation and uncertainty evaluation of geotechnical parameters obtained from mobile, direct push-based seismic cross-hole data**

J. Hausmann, M. Rumpf, U. Werban, H. Paasche, J. Tronicke, P. Dietrich

**UI-P.006**

**Torus-TEM - ein schwebendes Verfahren**

A. Steuer, F. Schildknecht, U. Noell

**UI-P.007**

**Petrophysikalischer Technikumsversuch und geophysikalische Tomographie von Kalirückstandshalden**

J. Confal, K. Dünnbier, T. Schicht, K. Thiemann, F. Börner

**UI-P.008**

**Hangcharakterisierung zur Identifizierung typischer funktionaler Einheiten mit Hilfe von Geoelektrischer Tomografie und VES**

T. Feskova, P. Dietrich

**UI-P.009**

**Geophysikalische Eigenschaften hölzerner Fundamentpfähle aus dem Stadtgebiet von Berlin**

O. Jonas, T. Ballhause, C. Rücker, F. Börner

**UI-P.010**

**Bestimmung der Geometrie einer Fundamentplatte mit dem Ultraschall-Echo-Verfahren unter Anwendung geophysikalischer Migrationsmethoden**

M. Grohmann, E. Niederleithinger, S. Buske

**UI-P.011**

**Einsatz geophysikalischer Verfahren zur Untersuchung einer holozänen Sedimentabfolge**

I. Gerloff, J. Krüger, M. Grinat

**UI-P.012**

**Evolutionary Algorithms for inversion of magnetic resonance soundings jointly with DC/TEM resistivity soundings**

T. Günther, I. Akca, M. Müller-Petke

**UI-P.013**

**Geophysical monitoring of leakages in shallow groundwater from a deep compressed air energy storage site**

S.A. al Hagrey, D. Köhn, C. Wiegers, D. Schäfer, W. Rabbel



## Übersicht Vorträge und Poster

**Mittwoch, 12. März 2014**

S3 – Schwerefeld und Schweremessung  
S4 – Geothermie  
EM – Elektromagnetik / Georadar  
GO – Geophysik in der Öffentlichkeit / Outreach  
MA – Magnetik / Erdmagnetismus  
MG – Marine Geophysik  
MI – Modellierung und Imaging  
SE – Seismik  
SO – Seismologie

## **PV Plenarvortrag**

Mittwoch, 12.März 2014  
13:30-14:30  
Raum: Gaede HS

---

### **PV 0.003**

**Das Gerichtsverfahren zum L'Aquila-Beben: Auf der Suche nach Gerechtigkeit...**

T. Braun

## **S3 - Schwerefeld und Schweremessung**

Mittwoch, 12.März 2014  
14:30 - 15:50  
Raum: NTI HS

---

14:30 - 14:50 **S3-1.001**

**Zur Abschätzung von Dichteverteilungen anhand von Widerstandsverteilungen am Beispiel der Cuxhavener Rinne (Projekt AIDA)**

P. Menzel, H.-J. Götze

14:50 - 15:10 **S3-1.002**

**Schwereanomalien und Schwerestörungen in der Region Oberrheingraben**

K. Seitz, T. Grombein, B. Heck

15:10 - 15:30 **S3-1.003**

**Ein neues PC-Steuerprogramm für das ZLS-Burris Gravimeter**

H.R. Schulz

15:30 - 15:50 **S3-1.004**

**Resultate mikrogravimetrischer Messungen und das Driftverhalten des ZLS Burris Gravimeters**

K.U. Kessler-Schulz, H.R. Schulz

## **S4 - Geothermie**

Mittwoch, 12.März 2014  
14:30 - 15:30  
Raum: Lehmann HS

---

14:30 - 14:50 **S4-5.001**

**Betriebsführung eines Bürogebäudes optimiert hinsichtlich Exergieverbrauchs**

A. Michalski, N. Klitzsch, C. Clauser

14:50 - 15:10 **S4-5.002**

**Möglichkeit zur Bestimmung von in-situ Temperaturen geothermischer Reservoirs durch den Einsatz von thermo-sensitiven Tracern**

F. Maier, T. Licha

15:10 - 15:30 **S4-5.003**

**Numerical Simulations of Fluid Induced Seismicity in Hydraulically Heterogeneous Media**

J. Galindo Guerrero, C. Dinske, C. Langenbruch, S.A. Shapiro

## **EM - Elektromagnetik/ Georadar**

Mittwoch, 12.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: HS A

---

10:40 - 11:00 **EM-1.001**

**Ein Quantitativer Ansatz zur Überwachung eines CO<sub>2</sub>-Sequestrierungsstandortes mit elektromagnetischen Methoden in Quebec/Kanada**

M. Bär, B. Giroux, K. Spitzer

11:00 - 11:20 **EM-1.002**

**Untersuchung der Reflexionseigenschaften von PE-Rohren durch Modellierung der zeitabhängigen Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes**

M. Naser, A. Junge

11:20 - 11:40 **EM-1.003**

**Potential of soil water content mapping using electromagnetic induction in a forested catchment**

D. Altdorff, J. van der Kruk, J.A. Huisman

11:40 - 12:00 **EM-1.004**

**First experience with a newly developed modular electromagnetic induction system for ground conductivity measurements**

A. Mester, E. Zimmermann, J. van der Kruk, H. Vereecken, S. van Waasen

12:00 - 12:20 **EM-1.005**

**Large-Scale 3D Multi-Layer Electromagnetic Induction Data Inversion**

C. von Hebel, A. Mester, J.A. Huisman, S. Rudolph, H. Vereecken, J. van der Kruk

Mittwoch, 12.März 2014

14:30 - 15:50

Raum: HS A

---

14:30 - 14:50 **EM-2.001**

**CSEM surveillance and monitoring concepts for enhanced oil recovery methods**

K. Tietze, O. Ritter, A. Platz, U. Weckmann

14:50 - 15:10 **EM-2.002**

**1D Inversion and Interpretation of Time-Domain Marine Controlled Source Electromagnetic (CSEM) Data**

D. Moghadas, M. Engels, K. Schwalenberg

15:10 - 15:30 **EM-2.003**

**Transiente Elektromagnetik (TEM) Messungen zur Erkundung glazialer Stauchstrukturen bei Itzehoe, Schleswig Holstein**

S. Stadlbauer

15:30 - 15:50 **EM-2.004**

**Der Effekt der induzierten Polarisation in der Transientenelektromagnetik**

M. Seidel, B. Tezkan



## **GO - Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach**

Mittwoch, 12.März 2014  
15:30 - 15:50  
Raum: Lehmann HS

---

15:30 - 15:50 **GO-1.001**  
**Flächenbedarf von Solar- und Windenergieanlagen**  
W. Jacoby, O. Schwarz

## **MA - Magnetik/ Erdmagnetismus**

Mittwoch, 12.März 2014  
09:00 - 10:20  
Raum: HS A

---

09:00 - 09:20 **MA-1.001**  
**Potentials and limitations of magnetic polarity stratigraphy in fluvial sediments: results from the Plio-Pleistocene of the Heidelberg Basin**  
S. Scheidt, C. Rolf, U. Hambach

09:20 - 09:40 **MA-1.002**  
**Navigation einer Eisschmelzsonde anhand von Magnetfeldern**  
H. Stebner, A. Hördt, H.-U. Auster, S. Macht

09:40 - 10:00 **MA-1.003**  
**Feldkalibrierung von dreiachsigen Magnetometern**  
C. Virgil, H.-U. Auster, I. Richter

10:00 - 10:20 **MA-1.004**  
**Das Luftschiff als Messplattform für magnetische Kartierungen**  
M. Petzke, P. Hofmeister, H.-U. Auster, K.-H. Glaßmeier, A. Hördt

## **MG - Marine Geophysik**

Mittwoch, 12.März 2014  
09:00 - 10:20  
Raum: NTI HS

---

09:00 - 09:20 **MG-1.001**  
**Morphologie, Dynamik und Geogefahren von submarinen Rutschungen im Bereich des Agadir Canyons, NW Afrika. Erste Ergebnisse der Maria S. Merian Fahrt MSM32**  
S. Krastel, R.B. Wynn, P. Feldens, D. Unvericht, S. Glogowski, MSM32 Scientific Party

09:20 - 09:40 **MG-1.002**  
**Hydrothermale Aktivitäten entlang des Zentralindischen Rückens - magnetische und strukturgeologische Untersuchungen**  
C. Bartsch, U. Barckhausen

09:40 - 10:00 **MG-1.003**  
**The sedimentary cover of the eastern Agulhas Ridge as seen in multichannel seismic reflection profiles: indications for changes in deep ocean circulation**  
J. Gruetzner, G. Uenzelmann-Neben

10:00 - 10:20 **MG-1.004**

**A new Shallow Water Cabled OBS System off California**

H. Rademacher, C. Pearcey, G. Mangano, C. Guralp

Mittwoch, 12.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: NTI HS

---

10:40 - 11:00 **MG-2.001**

**The magmatic evolution of the Western and High Plateau of the Manihiki Plateau, Central Pacific**

K. Hochmuth, K. Gohl, G. Uenzelmann-Neben

11:00 - 11:20 **MG-2.002**

**New insights into the magmatic history of the Manihiki Plateau**

R. Pietsch, G. Uenzelmann-Neben

11:20 - 11:40 **MG-2.003**

**Der plattentektonische Ursprung der westlichen Karibik: neue Erkenntnisse aus magnetischen Daten**

U. Barckhausen, U. Engels, K. Hoernle

11:40 - 12:00 **MG-2.004**

**Electromagnetic imaging of sediment distribution and stratification in continental shelf systems**

H. Müller, B. Baasch, T. von Dobeneck

12:00 - 12:20 **MG-2.005**

**First appearance of the Deep Western Boundary Current in the Bounty Trough region, east of New Zealand**

M. Horn, G. Uenzelmann-Neben

### ***MI - Modellierung und Imaging***

Mittwoch, 12.März 2014

09:00 - 10:20

Raum: HS B

---

09:00 - 09:20 **MI-1.001**

**Semi-Automated Topology-Conserving Geometry Optimization of the SEAM Model**

M.R. Alvers, B. Lahmeyer, C. Plonka

09:20 - 09:40 **MI-1.002**

**Numerical modeling and acoustic testing techniques at impact craters on a laboratory scale - what can we learn to better understand meteorite craters?**

K. Wünnemann, C. Grosse, N. Güldemeister, D. Moser

09:40 - 10:00 **MI-1.003**

**Direct meshless multidimensional magnetotelluric modelling**

J. Wittke, B. Tezkan

10:00 - 10:20 **MI-1.004**

**How grainshape variations control fluid infiltration into a sediment bed**

G. Bartzke, K. Huhn

Mittwoch, 12.März 2014  
10:40 - 11:20  
Raum: HS B

---

10:40 - 11:00 **MI-2.001**  
**Modeling Wave Propagation in Anisotropic Media**  
A. Oelke, O.S. Krueger, S.A. Shapiro

11:00 - 11:20 **MI-2.002**  
**3D i-CRS stacking operator in homogeneous isotropic media**  
I. Abakumov, B. Kashtan, D. Gajewski

## **SE - Seismik**

Mittwoch, 12.März 2014  
11:20 - 12:20  
Raum: HS B

---

11:20 - 11:40 **SE-1.001**  
**Seismic data interpolation, regularization and pre-stack enhancement, using the partial i-CRS stack**  
M. Koushesh, B. Schwarz, D. Gajewski

11:40 - 12:00 **SE-1.002**  
**Application of 3D CRS imaging in a crystalline environment**  
K. Ashfaq Ahmed, D. Gajewski, B. Schwarz

12:00 - 12:20 **SE-1.003**  
**Auxiliary media - a generalized view on stacking**  
B. Schwarz, C. Vanelle, D. Gajewski

Mittwoch, 12.März 2014  
14:30 - 15:50  
Raum: HS B

---

14:30 - 14:50 **SE-2.001**  
**Time-lapse seismic monitoring of the CO<sub>2</sub> injection at Ketzin, Germany**  
M. Gil, J. Götz, A. Ivanova, S. Lüth, C. Juhlin, C.M. Krawczyk

14:50 - 15:10 **SE-2.002**  
**Bestimmung eines Poissonzahlen-Modells aus reflexionsseismischen Messungen am CO<sub>2</sub>CRC Otway Project Pilot Site, Australien**  
T. Beilecke, C.M. Krawczyk, D.C. Tanner, J. Ziesch

15:10 - 15:30 **SE-2.003**  
**Seismische Messungen über einem Salzstock in Schleswig-Holstein: Rückschlüsse für geothermische Nutzungen**  
R. Mecking, H. Buess, W. Rabbel, M. Thorwart, R. Kirsch, F. Hese, C.M. Krawczyk

15:30 - 15:50 **SE-2.004**  
**Improved subsalt imaging using Common Scatter Point gathers**  
Y. Yang, C. Vanelle, D. Gajewski

## **SO - Seismologie**

Mittwoch, 12.März 2014

09:00 - 10:20

Raum: Gaede HS

---

09:00 - 09:20 **SO-4.001**

**Surface wave tomography of central and northern Europe from automated inter-station dispersion measurements**

R.A. Soomro, C. Weidle, S. Lebedev, L. Cristiano, J. Behrmann, T. Meier

09:20 - 09:40 **SO-4.002**

**Resonante ozeanische Anregung langperiodischer Oberflächenwellen**

R. Häfner, R. Widmer-Schnidrig

09:40 - 10:00 **SO-4.003**

**Evidence of absence of PP precursors**

S. Lessing, C. Thomas, M. Saki, N.C. Schmerr, E. Vanacore

10:00 - 10:20 **SO-4.004**

**Pamir meets Tien Shan: the complex faulting during the 2008 Nura earthquake (Kyrgyzstan) revealed by InSAR (Interferometric Synthetic Aperture RADAR) data analysis**

H. Sudhaus, K. Teshebaeva, H. Echtler, B. Schurr

Mittwoch, 12.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: Gaede HS

---

10:40 - 11:00 **SO-5.001**

**Volcanoes, geysers, and hydrothermal reservoirs triggered by earthquakes**

T.R. Walter

11:00 - 11:20 **SO-5.002**

**Subkrustale Seismizität in der Osteifel**

S. Stange, D. Kurrle, T. Dahm, K.-G. Hinzen, K. Lehmann, J.R.R. Ritter, B. Schmidt

11:20 - 11:40 **SO-5.003**

**Earthquake stress drop variability in Japan**

A. Oth

11:40 - 12:00 **SO-5.004**

**Der nordkoreanische Nukleartest im Februar 2013**

C. Bönnemann, L. Ceranna, G. Hartmann, J.O. Roß

12:00 - 12:20 **SO-5.005**

**Signifikante Scherwellenabstrahlung des nordkoreanischen Atomtests vom 12. Februar 2013**

A. Barth

14:30 - 14:50 **SO-6.001**

**Seismische Anisotropie in der Subduktionszone der Zentralanden: Graben-parallele schnelle Polarisation durch Krusteneinflüsse**

I. Wölbern, U. Löbl, G. Rümpker

14:50 - 15:10 **SO-6.002**

**S receiver function observations of flat Laramide subduction in the western US and lithospheric delamination in the Yellowstone volcanic region**

R. Kind, F. Sodoudi, X. Yuan

15:10 - 15:30 **SO-6.003**

**Downhole Seismic Monitoring in the Istanbul/Eastern Sea of Marmara Region: Recent Results from the ICDP-GONAF Project**

M. Bohnhoff, G. Dresen, F. Bulut, C. Raub, T. Kilic, R.F. Kartal, F.T. Kadiriouglu, M. Nurlu, P.E. Malin, H. Ito

15:30 - 15:50 **SO-6.004**

**Lokalisierung des Außergewöhnlichen mittels 3D Echtzeit-Visualisierung**

A. Eisermann, M. Joswig

## **Postersession**

**Mittwoch, 12.März 2014**

**16:00-17:30**

**Geb. 30.22**

---

### **S3 - Schwerefeld und Schweremessung (Poster)**

#### **S3-P.001**

**Systematische Analyse des lithostatisch induzierten Stressfeldes auf der subduzierten Nazca-Platte**

B.D. Gutknecht

#### **S3-P.002**

**A new gravity-inferred 3D density model of the Southern Central Andes**

T. Schaller, H.-J. Götze, M. Sobiesiak

#### **S3-P.003**

**Deciphering the crust and upper mantle structure of Fennoscandia**

S. Gradmann, J. Ebbing, R. England, V. Maupin, M. Smirnov

#### **S3-P.004**

**Petrologisch-geophysikalische Modellierung der Transeuropäischen Suturezone im Gebiet des TOR-Profiles**

F. Pappa, W. Rabbel, J. Ebbing

#### **S3-P.005**

**Salzstock Geesthacht und Umgebung**

K. Altenbrunn, H.-J. Götze, S. Schmidt

#### **S3-P.006**

**Aerogravimetrische Vermessung mit dem BGR Hubschrauber im Landkreis Verden**

I. Heyde

#### **S3-P.007**

**Charakterisierung von Subrosionsprozessen mittels Schwerenetzwerk an der Kyffhäuser Südrandstörung in Bad Frankenhausen**

G. Jahn, G. Gabriel, C.M. Krawczyk, D. Vogel

#### **S3-P.008**

**Coherency Analysis between SGs at BFO and Strasbourg**

Y. Zhang, R. Widmer-Schmidrig, N. Sneeuw

#### **S3-P.009**

**Kleinräumige Gravimeternetzwerke zur Umweltbeobachtung und Gefahrenüberwachung**

H. Mollenhauer, J. Bumberger, P. Dietrich

#### **S3-P.010**

**Genauigkeitsuntersuchungen moderner Federgravimeter für Monitoringaufgaben in der Geophysik**

M. Schilling, O. Gitlein, G. Jahn, D. Vogel

**S3-P.011**

**Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus zur Berechnung der gravimetrischen und magnetischen Anomalie von homogenen Körpern mit beliebiger Oberfläche**

M. Bär, R.-U. Börner, R. Kämpfer

**S3-P.012**

**EVAREST - Evaluierung von Strukturmodellen durch gemeinsame Interpretation von Potenzialfelddaten**

P. Skiba, G. Gabriel, C.M. Krawczyk

**EM - Elektromagnetik/ Georadar (Poster)****EM-P.001**

**UAV-borne electromagnetic induction and ground-penetrating radar measurements: a feasibility test**

D. Altdorff, N. Schliffke, M. Riedel, V. Schmidt, J. van der Kruk, J.B. Stoll, M. Becken

**EM-P.002**

**Topographic migration of 2D and 3D GPR data with variable velocities.**

N. Allroggen, J. Tronicke, M. Delock, U. Böniger

**EM-P.003**

**Robust processing of radio-magnetotelluric data**

M. Becken

**EM-P.004**

**Prediction of GPR performance in soils using dielectric spectroscopy and TDR**

M. Loewer, J. Igel

**EM-P.005**

**Multi-dimensional forward modeling of frequency-domain helicopter-borne electromagnetic data**

M. Miensoopust, B. Siemon, R.-U. Börner, S. Ansari

**EM-P.006**

**Marine Circular Electric Dipole: Synthetic modeling studies in shallow marine environments**

A. Haroon, M. Goldman, B. Tezkan

**EM-P.007**

**Influence of antenna polarisation on GPR signals of linear targets**

J. Igel, K. Takahashi

**EM-P.008**

**Kartierung von Tonvorkommen aus der Luft am Beispiel des Messgebietes Esens in Ostfriesland**

B. Siemon, W. Voß, J. Elbracht, N. Deus, H. Wiederhold, U. Meyer

**EM-P.009**

**Hubschrauber-geophysikalische Messungen in Norddeutschland**

B. Siemon, H. Wiederhold, A. Steuer, W. Voß, U. Meyer

**EM-P.010**

**First test measurements for utilizing Impressed Current Cathodic Protection of pipelines as a source for EM exploration**

T. Lindau, M. Becken

**EM-P.011**

**Fault characterization in arid environments using transient electromagnetics with a SQUID magnetometer: the Hei River Basin**

A. Rudersdorf, S. Hölz, K. Reicherter

**EM-P.012**

**Entwicklung einer 2D Magnetotellurik Finite Elemente Simulationsroutine in Matlab**

C. Patzer, A. Franke-Börner, W. Wilhelms, R.-U. Börner, K. Spitzer

**EM-P.013**

**Elektromagnetische Mehrspulen- und Gleichstromgeoelektrik- Messungen zur Erkundung einer archäologischen Verdachtsfläche**

G. Avci, M. Gurk, B. Tezkan

**EM-P.014**

**Eigenpotential- und RMT-Messung zur Erkundung der Symmetrieeigenschaften und der Leitfähigkeitsverteilung des Rodderberg-Vulkans**

I. Nickel

**EM-P.015**

**Durchführung und Interpretation von Bohrlochmessungen mit der Geonics BH43-3D TEM-Sonde**

A. Eifert, R.-U. Börner, K. Spitzer

**EM-P.016**

**Development of an E-field data logger and first tests.**

J. Schmalzl, T. Lindau, B. Böhmer, S. Ueding, M. Becken

**EM-P.017**

**Datenanalyse von mit hochfrequenten Störsignalen belasteten, magnetotellurischen Zeitreihen**

P. Hering, A. Junge

**EM-P.018**

**Anwendung fokussierender Tiefenmigrationsverfahren bei der Detektion von Blindgängern mittels Bohrloch-GPR**

O. Hellwig, M. Linke, B. Forkmann

**EM-P.019**

**A joint approach to inversion of DC and TEM data**

J. Weißflog, F. Eckhofer, R.-U. Börner, M. Eiermann, O. Ernst, K. Spitzer

**EM-P.020**

**A Concept for 3-D Inversion of Helicopter Electromagnetic Data Using a Tensor-based Problem Formulation**

M. Scheunert, M. Afanasjew, R.-U. Börner, M. Eiermann, O. Ernst, K. Spitzer

**EM-P.021**

**3D magnetotelluric inversion: Preconditioning of the KKT system**

W. Wilhelms, R.-U. Börner, K. Spitzer



## **GO - Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach (Poster)**

### **GO-P.001**

#### **M.Sc. Programmes in Applied Geosciences at RWTH Aachen**

M. Hruska, C. Clauser, C. Hilgers, K. Heinzmann

### **GO-P.002**

#### **Masterstudiengang Geotechnologie mit Kernfach Angewandte Geophysik an der TU Berlin**

U. Yaramanci, F. Börner

### **GO-P.003**

#### **Masterstudiengang "Physik der Erde und Atmosphäre" an der Universität Bonn**

A. Kemna

### **GO-P.004**

#### **Der Studiengang Master Physik mit geophysikalischem Schwerpunkt an der TU Braunschweig**

A. Hördt, K.-H. Glaßmeier, J. Blum

### **GO-P.005**

#### **Studiengang Geoinformatik und Geophysik: Der mathematisch-physikalisch-informatische Zweig der Geowissenschaften**

K. Spitzer, S. Buske, H. Schaeben

### **GO-P.006**

#### **Der Hamburger Masterstudiengang Geophysik**

C. Vanelle, C. Hübscher

### **GO-P.007**

#### **Das geophysikalische Masterstudium in der Lichtstadt Jena in Thüringen**

T. Jahr, N. Kukowski, A. Goepel, M. Krause, F. Bleibinhaus

### **GO-P.008**

#### **Master of Science in GEOPHYSICS at the University of Kiel**

W. Rabbel, Kieler Geophysik-Team

### **GO-P.009**

#### **Masterstudiengang "Physik der Erde und Atmosphäre" am Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln**

M. Gurk

### **GO-P.010**

#### **MSc Studiengang Geowissenschaften: Umweltdynamik und Georisiken**

M. Korn

### **GO-P.011**

#### **Universität Potsdam: Masterstudiengang Geowissenschaften mit Vertiefungsrichtung Geophysik**

J. Tronicke, F. Krüger

### **GO-P.012**

#### **Master-Studiengang Geophysik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

E. Gottschämmer, T. Bohlen

### **GO-P.013**

#### **Inspiring Change - Studenten organisieren die IGSC 2013**

R. Niemann, A. Röser

**GO-P.014**

**Geophysik-Studierende präsentieren ihr Studienfach - ein Update des Rent-a-Student-Projektes**

N. Thiel

**GO-P.015**

**Lehrerfortbildung und Angebote für Schulklassen am KIT-Lehrstuhl für Physikalische und Satellitengeodäsie - Einblicke in ausgewählte aktuelle Projekte**

M. Mayer, K. Seitz, M. Westerhaus, B. Heck

**GO-P.016**

**Geophysik als Wahlpflichtfach am Geschwister-Scholl Gymnasium Velbert NRW**

H. Hassler

**GO-P.017**

**Schülerlabor Geophysik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

E. Gottschämmer, T. Bohlen

**GO-P.018**

**Konzeption und Aufbau von Versuchen zur Messung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Stoffen**

L. Langhamer, E. Gottschämmer, T. Bohlen

**GO-P.019**

**Die Seismik-Arbeitsgemeinschaft am St.-Michael-Gymnasium Monschau (Eifel)**

U. Arndt, F. Hoff, F. Krämer

**GO-P.020**

**Eine Seismik-AG lokalisiert Erdbeben und baut einen großen Geophysik-Globus**

U. Arndt, F. Hoff, F. Krämer

**GO-P.021**

**Wissenschaft zum Anfassen: Machen macht schlau!**

J. Lerch

**GO-P.022**

**Sparkling Geomagnetic Field: Ein Programm zur Einbindung von Schulen in die geomagnetische Forschung**

R. Bailey, R. Leonhardt, B. Leichter

**MA Magnetik/ Erdmagnetismus (Poster)****MA-P.001**

**Über die Möglichkeit durch seismische Wellen in der Ionosphäre Plasmawellen anzuregen**

N. Germer, A. Hördt, K.-H. Glaßmeier

**MA-P.002**

**Rock magnetic fabrics and tectonics of the Nordschwarzwald Granite Complex**

J.C. Grimmer

**MA-P.003**

**Results of full tensor magnetic gradient and radiometric measurements in Thuringia, Germany**

R. Stolz, M. Queitsch, M. Schiffler, U. Meyer, B. Siemon, A. Steuer, M. Bock, A. Goepel, M. Meyer, H.-G. Meyer, N. Kukowski

**MA-P.004****Magnetikmessung zur Detektion von Spuren des Altbergbaus in der Eifel bei Nettersheim**

A. Dorn, M. Gurk, B. Tezkan

**MA-P.005****Joint geophysical investigation of a small scale magnetic anomaly near Gotha, Germany**

M. Queitsch, M. Schiffler, A. Goepel, R. Stolz, T. Guenther, A. Malz, M. Meyer, H.-G. Meyer, N. Kukowski

**MA-P.006****Ein 3D Modell des Magnetfeldes am westlichen südamerikanischen Kontinentalrand**

E. Berndt, H.-J. Götze

**MA-P.007****Microlevelling of high resolution magnetic gradient tensor data**

M. Schiffler, M. Queitsch, M. Schneider, R. Stolz, W. Krech, H.-G. Meyer, N. Kukowski

**MA-P.008****Magnetic properties and anisotropy of salt rocks: First results of low-field magnetic measurements**

V. Schmidt, F.C. Heinrich

**MA-P.009****Die Empirische Moden-Dekomposition als Hilfsmittel zur Extrahierung und Charakterisierung planetarer Wellenmoden in geomagnetischen Zeitreihen**

D. Frühauff, K.-H. Glaßmeier

**MA-P.010****Weiterentwicklung einer Software zur Kampfmittelsuche mittels Oberflächenmagnetikdaten**

S. Schmitt, A. Hördt, C. Virgil, H. Stebner

**MA-P.011****Untersuchung der Magnetisierung von Kampfmitteln und Kampfmittelimitaten**

E. Kuhn, C. Virgil, D. Heyner, A. Hördt

**MG - Marine Geophysik (Poster)****MG-P.001****New gravity and magnetics map of eastern part of Azores**

A. Dehghani

**MG-P.002****Exploration von marinen Massivsulfiden: Perspektiven für elektromagnetische Methoden**

K. Schwalenberg, M. Engels, H. Müller

**MG-P.003****Electrical anisotropy associated with methane seep sites - examples from Opouawe Bank, Hikurangi Margin, New Zealand**

D. Rippe, M. Engels, K. Schwalenberg, C. Scholl

## **MI - Modellierung und Imaging (Poster)**

### **MI-P.001**

#### **Überlappende MPI-Kommunikation bei der Finite-Differenzen Simulation seismischer Wellen**

B. Schmitz, T. Bohlen

### **MI-P.002**

#### **Skalierung von gerichteten Kraftquellen an der freien Oberfläche in 2D FD-Modellierungen**

L. Groos, T. Forbriger, T. Bohlen

### **MI-P.003**

#### **Genauigkeit der Finiten Differenzen Simulation von reflektierten seismischen Wellen**

M. Pontius, T. Bohlen, I. Veile

### **MI-P.004**

#### **Genauigkeitsanalyse seismischer und elektromagnetischer Finite-Differenzen-Simulationsrechnungen im Fall von dünnen Klüften**

M. Linke, O. Hellwig, S. Buske

### **MI-P.005**

#### **The electrical conductivity of Posidonia black shales - from rock samples to magnetotelluric exploration**

F.J. Santos Ferreira Adão, O. Ritter, E. Spangenberg

### **MI-P.006**

#### **Field measurement of magnetic resonance tomography using elongated transmitter and in-loop receiver arrays (MRTetra)**

C. Jiang, M. Müller-Petke, R. Dlugosch, L. Jun

### **MI-P.007**

#### **Integrated stratigraphic and petroleum system modelling of Russian Arctic shelves**

V. Vasilev, V. Verzhbitsky, V. Ananov, D. Komissarov, R. Murzin, S. Rasskazova, Y. Filippovich

## **SE - Seismik (Poster)**

### **SE-P.001**

#### **Seismische Messungen in einem rezenten Subrosionsgebiet an der Kyffhäuser-Südrand Störung**

H. Bunn, L. Katzschnann, S. Schmidt, C.M. Krawczyk

### **SE-P.002**

#### **Compiling a structural and stratigraphic model of East Siberian Sea shelf based on the onshore geological data (Chukotka, Wrangel and New Siberian Islands)**

V. Verzhbitsky, S. Sokolov, V. Vasilev, M. Tuchkova, E. Vatrushkina, V. Ananov

### **SE-P.003**

#### **Using a fibre-optic cable as Distributed Acoustic Sensor for Vertical Seismic Profiling at the Ketzin CO<sub>2</sub> storage site**

J. Götz, S. Lüth, J. Henningsen

### **SE-P.004**

#### **Ersteinsatztomographie eines 3D-Seismik Datensatzes im Rahmen der Erkundung eines Geothermiestandortes im Raum Schneeberg (Sachsen)**

S. John, F. Hlousek, S. Buske

**SE-P.005**

**High frequency noise studies at the Hartousov mofette area (CZE)**

J. Umlauf, J. Pommerencke, H. Flores, A. Schmidt

**SE-P.006**

**Oberflächennahe Erkundung durch seismische Tomographie - ein Beitrag zur Bauwerkssicherung beim Autobahnbau**

U. Swoboda, C. Hartmann

**SE-P.007**

**Seismische Modellierung von maximalen Bodenschwinggeschwindigkeiten im Nahfeld von kaskadierten Vibroseis-Quellen**

G. Lüttschwager, T. Bohlen, O. Ritzmann

**SE-P.008**

**Seismic reflection profiling of the Baza Basin (Southern Spain) - Preliminary results**

M. Baumann-Wilke, C. Haberland, M. Stiller, L. Gibert, M.J. Jurado, G. Scott

**SE-P.009**

**Data regularization for joint seismic surveys based on diffraction transformation**

I. Kurashov

## Übersicht Vorträge und Poster

**Donnerstag, 13. März 2014**

EM – Elektromagnetik / Georadar  
S3 – Schwerefeld und Schweremessung  
SE – Seismik  
SO – Seismologie

## **PV Plenarvortrag**

Donnerstag, 13. März 2014  
13:00-14:00  
Raum: Gaede HS

---

### **PV 0.004**

#### **Satellitengravimetrie: Versuch einer Zwischenbilanz**

R. Rummel

## **S3 - Schwerefeld und Schweremessung**

Donnerstag, 13. März 2014  
09:00 - 10:20  
Raum: Lehmann HS

---

09:00 - 09:20 **S3-2.001**

#### **Numerische Untersuchungen zur Realisierung eines einheitlichen globalen Höhendatums**

T. Grombein, K. Seitz, B. Heck

09:20 - 09:40 **S3-2.002**

#### **Gedanken zum Randeffect bei Potenzialfeldmodellen**

S. Schmidt, H.-J. Götze

09:40 - 10:00 **S3-2.003**

#### **3-D density modeling of the EGM2008 gravity field over the Mt. Paekdu volcanic area**

S. Choi, H.-J. Götze

10:00 - 10:20 **S3-2.004**

#### **Untersuchung der zeitlichen Variation des Gravimeterfaktors der Wellengruppe K1 mit Hilfe synthetischer Daten**

E. Schroth, T. Forbriger, M. Westerhaus

Donnerstag, 13. März 2014  
10:40 - 12:00  
Raum: Lehmann HS

---

10:40 - 11:00 **S3-3.001**

#### **Adaptive topographic mass correction for satellite gravity and gravity gradient data**

N. Holzrichter, W. Szwillus, H.-J. Götze

11:00 - 11:20 **S3-3.002**

#### **Lithospheric structure of the Arabian peninsula from modeling of satellite gravity gradients**

J. Ebbing, J. Bouman, R.A. Fattah, R. Haagmans, N. Holzrichter, V. Lieb, S. Meekes

11:20 - 11:40 **S3-3.003**

#### **A Comparison of Continental and Marine rifts based on gravity anomalies**

W. Jacoby, H. Cavaşak

11:40 - 12:00 **S3-3.004**

#### **Gravimetriestudie im Projekt Geopower - Beispiel für eine integrierte Interpretation**

H.-J. Götze, S. Schmidt, N.-P. Finger, R. Kirsch

## **EM - Elektromagnetik/ Georadar**

Donnerstag, 13.März 2014  
09:00 - 10:20  
Raum: HS A

---

09:00 - 09:20 **EM-3.001**

**How to identify Antarctica's "Oldest Ice" with geophysical data?**

O. Eisen

09:20 - 09:40 **EM-3.002**

**Time-lapse GPR imaging of preferential flow in the Attert catchment, Luxemburg.**

N. Allroggen, J. Tronicke

09:40 - 10:00 **EM-3.003**

**Bestimmung der 3D-Position einer Dipolquelle über dem Forschungs- und Lehrbergwerk "Reiche Zeche" mittels elektromagnetischer Verfahren**

S. Malecki, R.-U. Börner, K. Spitzer

10:00 - 10:20 **EM-3.004**

**First evidence of Surface-NMR signals detected using a B-field sensor**

M. Müller-Petke, R. Dlugosch, R. Stolz, A. Davis

Donnerstag, 13.März 2014  
10:40 - 12:20  
Raum: HS A

---

10:40 - 11:00 **EM-4.001**

**Verfahren zur räumlich integrierten Bodenfeuchtemessung unter Verwendung der Bodenwelle des Langwellensenders DCF77**

O. Kiseleva, C. Hübner, A. Brandelik, N. Kalthoff, M. Kohler, F. Königer, C. Kottmeier

11:00 - 11:20 **EM-4.002**

**Very Low Frequency Messungen mit einem Unmanned Airborne System Datenanalyse und Ergebnisse**

R. Eröss, J.B. Stoll, R. Bergers, B. Tezkan, D. Moritz, N. Pickartz

11:20 - 11:40 **EM-4.003**

**(An)isotrope 3D Array Magnetotellurik im südwestlichen Vogelsberg**

A. Löwer, A. Junge, K. Tietze

11:40 - 12:00 **EM-4.004**

**Inversion of magnetotelluric data in a sparse model domain**

C. Nittinger, M. Becken

12:00 - 12:20 **EM-4.005**

**High frequency MT data: understanding the deadband between 1 and 4 kHz**

S. Schennen, O. Ritter



## **SE - Seismik**

Donnerstag, 13.März 2014  
09:00 - 10:20  
Raum: HS B

---

09:00 - 09:20 **SE-3.001**

**Seismische Abbilder der San Andreas Störung in der nördlichen Salton-Senke (Südkalifornien)**

K. Bauer, T. Ryberg, G.S. Fuis, M.R. Goldman, R.D. Catchings, M.J. Rymer, J.A. Hole, J.M. Stock

09:20 - 09:40 **SE-3.002**

**Charakterisierung einer Störungszone mittels P- und S-Wellenseismik**

B. Wawerzinek, H. Bunes, P. Musmann, U. Polom, R. Thomas

09:40 - 10:00 **SE-3.003**

**Investigation of crystal anisotropy using seismic data from Kohnen Station, Antarctica**

A. Diez, O. Eisen, I. Weikusat, A. Lambrecht, C. Mayer, C. Hofstede, T. Bohlen, H. Miller

10:00 - 10:20 **SE-3.004**

**Interpolation von Ultraschalldaten durch seismische Interferometrie**

E. Niederleithinger, S. Müller

Donnerstag, 13.März 2014  
10:40 - 12:20  
Raum: HS B

---

10:40 - 11:00 **SE-4.001**

**Seismic site characterization in and around the COSC-1 drillhole**

H. Simon, S. Buske, R. Giese, C. Juhlin, C. Schmelzbach, H. Maurer, J. Robertsson

11:00 - 11:20 **SE-4.002**

**Fokussierende 3D prestack-Tiefenmigrationsverfahren zur Abbildung steil stehender Strukturen im Kristallin des West-Erzgebirges bei Schneeberg**

F. Hlousek, O. Hellwig, S. Buske

11:20 - 11:40 **SE-4.003**

**Investigation of the shallow subsurface of the Thuringian Basin using 3D traveltime tomography**

M. Krause, A. Goepel, F. Bleibinhaus, N. Kukowski

11:40 - 12:00 **SE-4.004**

**Prestack-Tiefenmigration des ANCORP'96 Datensatzes (N-Chile) mit Fokus auf vertikale Störungszonen**

I. Wenske, O. Hellwig, S. Buske, P. Wigger, S.A. Shapiro

12:00 - 12:20 **SE-4.005**

**Seismoelektromagnetik als Methode zur Untersuchung von Hohlraumstrukturen?**

B. Kröger, T. Fechner, A. Kemna

## **SO - Seismologie**

Donnerstag, 13.März 2014

09:00 - 10:20

Raum: Gaede HS

---

09:00 - 09:20 **SO-7.001**

**Zur Mechanik fluid-induzierter Mikrobeben im Raum Landau, Südpfalz**

J. Ritter, M. Frietsch, L. Gassner, J.C. Groos, M. Grund, J. Zeiß

09:20 - 09:40 **SO-7.002**

**Seismisches Monitoring im nördlichen Oberrheingraben - Die Projekte SiMoN und FERRY**

B. Homuth, M. Lindenfeld, H. Winter, G. Rümpker, M. Kracht

09:40 - 10:00 **SO-7.003**

**Clusteranalyse von Mikroerdbeben mittels Wellenformähnlichkeit im Bereich von Landau und Insheim, Südpfalz**

M. Grund, J.C. Groos, J. Ritter

10:00 - 10:20 **SO-7.004**

**3D Finite-Differenzen Modellierung von mikroseismischen Ereignissen im Bereich Landau**

L. Gaßner, T. Bohlen, E. Gottschämmer, J. Ritter

Donnerstag, 13.März 2014

10:40 - 12:20

Raum: Gaede HS

---

10:40 - 11:00 **SO-8.001**

**Seismische Scherwellen-Anisotropie im zentralen Oberrheingraben**

M. Frietsch, J.C. Groos, J.R.R. Ritter

11:00 - 11:20 **SO-8.002**

**Zeitliche Änderung des lokalen vp/vs Geschwindigkeitsverhältnisses in der initialen Phase von Erdbebenschwämen im Vogtland / NW Böhmen**

T. Dahm, T. Fischer

11:20 - 11:40 **SO-8.003**

**Seismische Überwachung norddeutscher Gasfelder - Detektionsschwelle und lokale Bodenunruhawerte**

U. Schwaderer, N. Gestermann, M. Joswig

11:40 - 12:00 **SO-8.004**

**Rupture Propagation Imaging on Microseismic Scale at the Basel EGS Site**

J. Folesky, J. Kummerow, S.A. Shapiro

12:00 - 12:20 **SO-8.005**

**Bestimmung rezenter Seismizität mittels Nanoseismic Monitoring in der westlichen Schwäbischen Alb**

G. Mokolke, J. Manfred



# Abstracts

## Abstracts

### Eröffnungsvortrag

*„Endlagersuche für Nuklearabfälle – eine Herausforderung für Wissenschaft und Gesellschaft“*

**Sailer, M., Öko Institut e.V., Berlin**

In Deutschland werden seit den frühen 60er Jahren hochradioaktive Abfälle produziert. Bisher liegen diese Abfälle in oberirdischen Zwischenlagern. Notwendig ist eine bestmögliche Trennung von der Biosphäre für mindestens eine Million Jahre. Dies ist nach heutiger Kenntnis nur mit einer Endlagerung in geeigneten tiefen geologischen Schichten möglich. Der Deutsche Bundestag hat im Sommer 2013 das „Endlagersuchgesetz“ verabschiedet, das das Verfahren zur Festlegung eines geeigneten Standorts für ein solches Endlager in Deutschland vorschreibt. Die Beurteilung muss in erster Linie anhand von naturwissenschaftlichen Kriterien – speziell solchen mit geowissenschaftlichem Hintergrund – erfolgen. Dies ist unabdingbare Voraussetzung, damit das Endlager unter realistischen Bedingungen höchstmögliche Sicherheitsanforderungen einhält. Hier sind die Geowissenschaften gefordert. Daneben ist ein weiterer wichtiger Faktor, dass die damit betrauten Einrichtungen und Entscheidungsstrukturen eine unabhängige und nur von Sicherheitsfragen getriebene Gestaltung der Suche und der Standortentscheidung gewährleisten. Hinzu kommt: unsere Gesellschaft erwartet nach den vielen Jahren der kontroversen Diskussion zur nuklearen Endlagerung ein transparentes Verfahren mit viel Möglichkeiten zur Diskussion und Mitwirkung – Herausforderung, mit denen nicht einfach umzugehen ist. Andererseits ist aber klar, dass eine aus naturwissenschaftlich-technischer Sicht möglichst sichere Lösung nur umsetzbar ist, wenn die gesellschaftliche Akzeptanz dafür besteht.

### Plenarvorträge

#### Plenarvortrag PV-0.001

*„Claim for seismic “weather forecasting” and comprehensive data investigation for geothermal projects“*

**Kohl, Th., Schoenball, M., Gaucher, E., AGW, KIT, Karlsruhe**

Induced seismicity is an accompaniment when injecting fluids at high flow rates. Although being well-known since 50 years, only recently a larger geophysical interest turned to this issue. The general concerns on induced seismicity, from the population and authorities, lead to the strong need for seismic models that have the same abilities like weather forecasting. The coupled geomechanical and meteorological systems have a similar range of challenges and complexities. However, the efforts taken up to now are fully different, especially classical weather and seismicity forecasting differ completely in the nature of calibrating. While up to centuries-long continuous weather records are available and the entire globe is monitored by remote sensing methods in real-time, physical measurements of the Earth's crust interior remains limited to point measurements in a 4D space. Results of small-scale laboratory measurements are difficult to upscale to fractured, i.e. weak zone-dominated, reservoirs.

On the other side, the conditions to successfully forecast earthquakes are nowhere as good as at sites with intense induced seismicity. Typically, several boreholes exist that are available for all kinds of geophysical measurements where the time-dependent induced stress perturbation is monitored at the boreholes. Reservoirs with induced seismicity are therefore in principle the best in-situ laboratories to study the earthquake nucleation process; also from a fundamental sciences perspective.

Earthquake forecasts by physical models have never been successful up to now. Why should numerical models taking into account only first-order principles and neglecting the geological complexity be able to do so? We have to abandon deterministic models and face the fractal nature of earthquake dynamics. There is a need for new approaches that account for the geological uncertainties of the reservoir structure, the mechanical, thermal, hydraulic and chemical parameters, and the coupled processes. Hybrid models taking into account the physical processes at the one hand and modeling uncertainties of the physical processes and the geological structures on the other hand, are urgently needed. This requires the use of state-of-the-art scientific computing concepts and true high-performance computing. Both are standard since many years in meteorology.

It is scientific standard that models are accurately calibrated and sensitivities are determined. The larger the range of physical conditions is, the more trustful a model can be applied. Hence, we need to take any effort to obtain outstanding, continuous measurements in time and space to capture the processes that are driving earthquakes. This requires suitable scientific infrastructures, which help to make the in situ processes accessible to geophysicists. The 25-years old Soultz-sous-Forêts pilot EGS-site can serve as a prototype. There, recent developments from direct and indirect observations demonstrate that seismicity is steerable. The changes of the stress field under injection and shut-in conditions and the existence of large-scale aseismic deformations have been demonstrated. New progress can only become possible when new laboratories are developed that allow calibrating seismic weather forecast models on a wide range of parameters. This task and the development of new numerical models with a sound physical basis need to be taken on by the geophysical community.

## **Plenarvortrag PV-0.002**

„Ocean Spreading - is the present the key to the past?“

**Devey, C. (Geomar, Kiel)**

Although the general processes of ocean plate accretion (plate separation, mantle upwelling and the creation of new seafloor) are understood, recent work has highlighted major gaps in our knowledge. Large sections of slow-spreading ridges are floored by metamorphic mantle rocks rather than volcanics, apparently the result of tectonic rather than magmatic accretion processes. But how long has that been going on? And young ocean basins (the Red Sea, the Woodlark Basin) appear to look significantly different in their crustal structure from what we have deduced geophysically from passive ocean margins, for example in the Atlantic. Does this mean that the present-day view of plate accretion is not applicable to the geological past? I will examine what we know about present-day and past tectonic accretion, highlight key gaps in our understanding and how we should go about filling them, and present some challenges for the geophysical community in the coming decade.

## **Plenarvortrag PV-0.003**

*„Das Gerichtsverfahren zum L'Aquila-Beben: Auf der Suche nach Gerechtigkeit...“*

**Braun, Th. (INGV, Arezzo, Italien)**

Am 6. April 2009, erschütterte ein Erdbeben der Stärke  $M_w=6.3$  die Abruzzen. Das Epizentrum lag wenige Kilometer unmittelbar unter L'Aquila, einer Provinz- und Landeshauptstadt mit mehr als 80000 Einwohnern. Durch die Folgen dieses Ereignisses verloren 309 Menschen ihr Leben, mehr als 1500 wurden teilweise schwer verletzt und mehr als 50000 Menschen obdachlos. Allein in dem 300 Einwohner zählenden Stadtteil Onna starben 41 Menschen und bei dem Einsturz eines Studentenwohnheims wurden acht Studenten unter den Trümmern begraben.

Dem verheerenden Erdbeben war eine mehrmonatige seismische Aktivität mit vielen spürbaren Ereignissen vorausgegangen. Schulen und öffentliche Gebäude wurden in dieser Zeit mehrfach

geschlossen, auf Schäden kontrolliert und danach wieder geöffnet. In der Bevölkerung herrschte daher allgemein große Verunsicherung. Nachdem dann am 30. März 2009 ein Beben der Stärke  $M=4$  stattfand, wurde die sogenannte Große Risiko Kommission (GRK) zu einer Krisensitzung einberufen. Die aus Zivilschutzpersonal, Wissenschaftlern und Ingenieuren bestehende Expertengruppe hat in Italien im Krisenfall die Aufgabe, die aktuelle Gefahrensituation zu beurteilen und entsprechende Empfehlungen auszusprechen. Wie man dem Sitzungsprotokoll entnehmen kann, wurde die Situation von der GRK als durchaus ernst eingestuft. Dadurch dass aber keinerlei Ausnahmezustand deklariert wurde, und ein GRK-Mitglied unmittelbar vor der Sitzung ein eher beruhigendes Fernsehinterview gab, entstand bei der Bevölkerung der Eindruck, dass die Situation nicht außergewöhnlich sei. Angehörige der Opfer klagten daraufhin, dass sie von Seiten der GRK nicht ausreichend gewarnt und dazu verleitet wurden, ihre Häuser nicht zu verlassen.

Am 22. Oktober 2012 wurden sieben Mitglieder der GRK-Sitzung wegen fahrlässiger Tötung in erster Instanz zu 6 Jahren Freiheitsstrafe und einer Geldstrafe in Millionenhöhe verurteilt. Unter den Verurteilten ist auch der damaligen Direktor des Nationalen Erdbebendienstes, der kein Mitglied der GRK war und nur der persönlichen Bitte des INGV-Präsidenten folgend an der Sitzung teilnahm.

Der Urteilsspruch, der in der Geschichte der Rechtsprechung seinesgleichen sucht, löste unter Wissenschaftlern weltweit große Empörung aus. Auf Seiten der enttäuschten Bevölkerung, wo der Ruf nach der Bestrafung der Verantwortlichen laut und deutlich ist, wurde dieses Urteil hingegen mit Erleichterung aufgenommen. Im Vortrag wird versucht die verschiedenen Aspekte zu erläutern und der Frage nachzugehen, ob das Gerichtsurteil der Komplexität der Situation angemessen ist.

## **Plenarvortrag PV-0.004**

*„Satellitengravimetrie: Versuch einer Zwischenbilanz“*

**Rummel, R. (Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, TU München)**

Satellitengravimetrie ist die Messung des Erdschwerefelds mit Satelliten. Bis zum Jahr 2000 geschah dies ausschließlich über die Analyse der gemessenen Bahnbewegung. Dieser Ansatz wurde bereits mit den ersten beiden künstlichen Satelliten Sputnik-1 und 2 erfolgreich verwirklicht und dann schrittweise verfeinert und verdichtet. Es entstand eine ganze Reihe von Schwerefeldmodellen zunehmender Güte, abgeleitet aus einem komplizierten Puzzle von verschiedenartigen Messverfahren, Daten einer großen Anzahl von Observatorien und abgeleitet aus der Beobachtung sehr unterschiedlicher Satelliten. Mit einer eindrucksvollen Reihe von Laserdistanzmessungen zu den Satelliten Lageos-1 und 2 gelang sogar der Nachweis der zeitlichen Veränderung der Erdatplattung.

Die Satelliten CHAMP, GRACE und GOCE ab 2000 sind der Beginn einer neuen Generation von Missionen, die speziell auf die verfeinerte Schwerefeldbestimmung ausgelegt sind. Ziel ist es dabei, der starken Dämpfung des Schwerefeldsignals in Satellitenhöhe entgegenzuwirken. Bausteine sind die Wahl extrem erdnahe Bahnen bei gleichzeitiger Messung bzw. Kompensation der atmosphärischen Störkräfte, die unterbrechungsfreie und dreidimensionale Bahnverfolgung mittels GPS und die Messung von Gravitationsfelddifferenzen entweder zwischen Satelliten wie im Fall von GRACE, oder zwischen Probemassen in einem Satelliten wie bei GOCE. Das Ergebnis ist eine erheblich Detail genauere Bestimmung der räumlichen und zeitlichen Variationen des Erdschwerefelds. Die hervorragende räumliche Auflösung von GOCE ermöglicht zum Beispiel eine verbesserte Analyse der isostatischen Kompensation topographischer Massen in Gebieten mit unzureichenden terrestrischen Schweremessungen, die Vereinheitlichung der Höhensysteme oder die rein geodätische Bestimmung der dynamischen Ozeantopographie und geostrophischen Geschwindigkeiten. Mit GRACE konnte erstmals eine schlüssige Bilanzierung der Eismassenveränderungen Grönlands, der Antarktis und der großen Gletschergebiete erreicht werden; erstmals lässt sich auch der Meeresspiegelanstieg in den thermohalinen Beitrag und den Masseneintrag aufgliedern; GRACE erlaubt zudem eine Rekonstruktion der Veränderungen des kontinentalen Massenhaushalts. Es stellt sich nun die Frage, wie im Kontext der Erdsystemforschung die Nachfolger dieser gravitativen Satellitenmesssysteme aussehen sollten.

# S1 Rifting

## Rifting - S1-1.001

### *The Deep Structure of the Afro-Arabian Rift System*

**Mechie, J.\***

Deutsches GeoForschungsZentrum - GFZ, Section "Geophysical Deep Sounding", Potsdam, Deutschland

The Afro-Arabian rift system is one of the prime examples of continental extension and breakup in the Cenozoic on Earth. It includes the young ocean basin in the southern Red Sea, the Great Rift Valley in Kenya and the enigmatic Jordan - Dead Sea Transform valley. Research within the rift system using controlled seismic sources has been ongoing for almost 50 years with the Geophysical Institute of Karlsruhe University having made significant contributions in this research field. To describe the deep crustal and uppermost mantle structure of the rift system, published velocity models based on controlled source seismic data have been collected and digitized with the aim of building a 3-D, P-wave velocity model. Presently, 124 2-D and 3-D wide-angle reflection / refraction models have been digitized and incorporated in the data base used to make the model. Crustal thickness varies from as little as 5 km beneath the Red Sea to in excess of 45 km under the flanks of the rift system in Ethiopia. However, such significant differences in crustal thickness exist not only between the rift and its flanks but also along the rift axis itself as exemplified in Kenya. Here a major change in crustal thickness occurs over a distance of 300 km, from about 35 km in the south beneath the Kenya dome to around 20 km in the north under Lake Turkana. Average crustal velocities, including the sediments, vary from as little as 4.0-4.5 km/s in the offshore basins to in excess of 6.5 km/s beneath the flanks of the rift system in Arabia and East Africa. One of the thickest sedimentary basins along the rift system is the Dead Sea basin with up to 10 km of Cenozoic sediments in its southern part. Recent seismic experiments suggest that the Dead Sea pull-apart basin may be essentially an upper crustal feature associated with the left-lateral motion along the Dead Sea Transform. The boundary between the upper and lower crust at about 20 km depth might act as a decoupling zone, below which the African and Arabian plates move past each other in what is essentially a shearing motion. The variety of structures formed within the Afro-Arabian rift system as a result of the relative motions of the surrounding plates, make it an ideal and often spectacular locality to investigate the processes of continental extension and breakup which, in turn, are fundamental processes associated with plate tectonics.

## Rifting - S1-1.002

### *Application of P and S receiver functions to investigate crustal and upper mantle structures beneath the Albertine branch of the East African Rift System*

**Gummert, M.\*, Lindenfeld, M., Wölbern, I., Rümpker, G.**

Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

The Rwenzori region at the border between Uganda and the Democratic Republic of Congo is part of the Albertine branch of the East African Rift System (EARS). The region is characterized by a horst structure, the Rwenzori Mountains, reaching elevations of more than 5 km and covering an area of about 120 km by 50 km. The unusual location of the mountain range, between two rift segments, suggests complex structures of the crust and the upper mantle below.

In our study, we employ P- and S-receiver functions in order to investigate the corresponding discontinuities of the lithosphere-asthenosphere system. The analyses are based on recordings from a dense network of 33 seismic broadband stations operating in the region from Sep. 2009 until Aug. 2011. The crustal thickness is analysed by using P-receiver functions and the grid search method of Zhu & Kanamori (2000) which involves the stacking of amplitudes of direct converted and multiple phases originating from the Moho. The method of S-receiver functions is more effective in analysing deeper discontinuities of the upper mantle, such as the lithosphere-asthenosphere boundary (LAB). The latter method also has the advantage that the interfering influence of multiple phases from shallower discontinuities is avoided. To simplify the analysis of the S-receiver functions, we use an automatic procedure to determine incidence angles used in the rotation from the ZNE system to the ray-centered LQT system.

We apply this approach to confirm and significantly extend results from the study of Wölbern et al. (2012), which provided evidence for an intra-lithospheric discontinuity at depths between 54 km and 104 km and the



LAB between 135 km and 210 km. Our results provide evidence for significant variations of crustal thickness beneath the region. The Moho depth varies between 20 km beneath the rift valley and 39 km beneath the adjacent rift shoulders. We also consider influences of sediment layers and of a low-velocity intra-crustal zone on the thickness estimates. The comparison of the Moho topography with the hypocentral depth distribution of local earthquakes indicates that the seismicity extends from the surface down to the base of the crust. From our investigation, there is no evidence for a crustal root beneath the Rwenzori mountain range. This observation provides support for rift-induced delamination, as recently proposed by Wallner & Schmeling (2010), to explain the uplift of the Rwenzori Mountains.

## Rifting - S1-1.003

### *High velocity lower crust of the South Atlantic rifted margins and its relation to the break-up process*

**Becker, K.<sup>1</sup>, Franke, D.<sup>1</sup>, Trumbull, R.<sup>2</sup>, Schnabel, M.<sup>1</sup>, Heyde, I.<sup>1</sup>, Schreckenberger, B.<sup>1</sup>, Koopmann, H.<sup>1</sup>, Bauer, K.<sup>2</sup>, Jokat, W.<sup>3</sup>, Krawczyk, C.M.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, Deutschland, <sup>4</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Here we analyze the crustal structure of the South Atlantic rifted margins with a special focus on the high velocity lower crust (HVLC), whose nature and origin is still under discussion. The HVLC ( $v_p > 7\text{ km/s}$ ) together with seaward dipping reflectors (SDRs) and continental flood basalts are characteristic of volcanic rifted margins. The study area reaches from the Rio Grande Rise-Walvis Ridge to the Falkland Agulhas Fracture Zone. Two new and five existing refraction lines are complemented by gravity models. These data allow an assessment of the size of the HVLC and its variations along and across the margins. Three seismic lines on the South American margin cover the change from an amagmatic margin (lacking seaward dipping reflectors) in the south to a well-developed volcanic rifted margin off Uruguay in the north. They document an increase in cross-sectional area of the HVLC from about  $120\text{ km}^2$  to values of  $330$  and  $590\text{ km}^2$  farther north. The four profiles covering the African margin also show a systematic increase in HVLC area towards the north, from  $1340$  to  $3240\text{ km}^2$ . Another major finding is the asymmetry in the volumes of the HVLC on the conjugate margins. The African margin reveals about 2-3 times thicker and four times more voluminous HVLC than the South American margin, whereas the Etendeka-Paraná flood basalt provinces show the opposite asymmetry. Also the vertical position of the HVLC with the respect to the SDRs varies consistently from south-to-north along the margins. This questions a simple extrusive/intrusive relationship between seaward dipping reflector sequences and HVLC. Furthermore, formation of the HVLC during different times in the rifting and break-up process is evident.

We conclude that the HVLC is predominantly a magmatic feature that is related to break-up. Melt generation scenarios based on variations in thickness and average  $v_p$  suggest that the greater thickness of HVLC on the African margin is due to active upwelling combined with elevated mantle potential temperatures while the model predicts passive upwelling and a thick lithospheric lid for the South American HVLC. The scenarios can be explained by a model of asymmetric rifting with a simple shear dominated extension. Our estimates for the volume of HVLC bodies imply a total magma production about  $4 \times 10^6\text{ km}^3$  on the rifted margins of the South Atlantic.

## Rifting - S1-1.004

### *Rifting processes at ultraslow mid-ocean ridges*

**Schlindwein, V.\*, Demuth, A., Korger, E.**

Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, Deutschland

Mid-ocean rift systems opening at full spreading rates  $< 20$  mm/y differ in their structure from all faster spreading ridges. One of the key differences is that the small amount of available melt is not distributed evenly along the ridge axis. Instead, rift sections of robust magmatism form with a crustal thickness of the order of 3-4 km. At more magma-starved locations, a magmatic crust may be entirely absent apart from pronounced volcanic centres with up to 9 km of crustal thickness. Gakkel ridge and Knipovich Ridge in the Arctic show several of these volcanic centres. We collected and compiled local, regional and global seismicity data of the ultraslow spreading ridges to examine the structure and their still poorly known spreading processes. At Knipovich Ridge, the maximum depth of faulting of local earthquakes marks the 600°C isotherm, which rises underneath Logachev Seamount. An undulating lithosphere-asthenosphere boundary has been postulated by many authors to explain the uneven melt distribution. They assume that melts travel horizontally along this sloping boundary towards the volcanic centres. Our observation of an undulating 600°C isotherm may thus provide the first geophysical evidence for this hypothesis.

Extraordinarily deep local earthquakes (16 km - 20 km below sea floor) at several sites of ultraslow spreading ridges indicate that the lithosphere is even colder than expected by thermal models. Confusingly, we observed such deep earthquakes also at the 85°E volcanic complex at Gakkel Ridge, 6 years after a major eruption when the lithosphere should still be warm. Magma-starved ridge portions of ultraslow spreading ridges show only few and weak teleseismically recorded earthquakes, while the volcanic centres may emit large numbers of strong earthquakes often in swarms. This contradicts the stripe-and-gap pattern of seismicity observed for example along the entire Mid-Atlantic ridge, where volcanic ridges are connected with reduced seismicity. In order to better understand the different spreading processes in magmatic and amagmatic rift sections of ultraslow spreading ridges, we performed the first comparative local seismicity study of an ultraslow spreading ridge. From Nov 2012- Nov 2013, two similarly designed networks of ocean bottom seismometers were recording earthquakes at two geologically contrasting sites of the Southwest Indian Ridge. We will present a short impression of the recent recovery of the instruments.

## Rifting - S1-2.001

### *Late Variscan controls on the location of the asymmetric Upper Rhine Graben and the active trailing edge of a SW-moving lithospheric block*

**Grimmer, J.C.<sup>1</sup>, Eisbacher, G.H.<sup>1</sup>, Fielitz, W.<sup>2</sup>, Ritter, J.R.R.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geowissenschaften, Universität Heidelberg, Heidelberg, Deutschland,

<sup>3</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

The generally NNE-trending Upper Rhine Graben (URG) of the Cenozoic West European rift system is a lithospheric scale, but essentially non-volcanic structure, which from ca. 47 Ma onwards evolved within the changing stress field in the northwestern foreland of the Alps. The distribution of an up to 3.5 km thick graben fill and displacements along the Eastern ( $>3$  km) and Western ( $< 3$  km) main border fault systems indicate strong cross-sectional asymmetries. These asymmetries were already established in Carboniferous times (ca. 325 Ma) during extension of a still 'hot' crust (and lithosphere) along a composite NNE-striking and mainly W-down 'East Rhine Detachment'. The detachment is preserved as several hundred meters thick mylonite zones in the basement of the eastern graben shoulder and probably also as gently W-dipping seismic reflectors in the lower crust beneath the URG. Although transtensional subsidence of Permocarboniferous basins (ca. 310 to 270 Ma) followed mainly NE-trending upper crustal faults, deep reaching lithospheric cooling from ca. 260 to 200 Ma induced subsidence of the Franconian platform within a distinctly NNE- to SSW-expanding embayment of the Germanic Basin. After the platform emerged above sea level in late Mesozoic times, the deep reaching W-dipping 'extensional defects' in the lithosphere exerted a primary control on the location and asymmetric cross section of the URG; strongly altered and more shallow rooted NE- to NW-striking Permocarboniferous fracture zones controlled extensional transfer along the terminations, segment boundaries and lateral transitions between major fault blocks of the URG. Deep crustal (and upper lithospheric) asymmetries continue to influence the thermal state of the URG, such

as pronounced geothermal highs in the west-central graben, and regional seismicity, such as westward rising depth cut-offs of earthquake hypocentres in the southern graben. Seismic activity between Switzerland and the Netherlands appears to mark the >600 km long trailing edge of a SW-moving lithospheric block. NE-SW-oriented seismic anisotropy at sublithospheric depths of 60 to 80 km suggest an active mantle flow in this direction and a possible driving force for SW-directed extrusion and active extension of the URG lithosphere along pre-existing structural defects.

## Rifting S1-2.002

### *Recent Surface Displacements in the Upper Rhine Graben Area Derived from Precise Levelling and SAR Interferometry*

**Fuhrmann, T.\*, Schenk, A., Westerhaus, M., Zippelt, K., Heck, B.**

Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

As central and most prominent segment of the European Cenozoic rift system, the seismically and tectonically active Upper Rhine Graben (URG) is of steady geo-scientific interest. In the last decades, the URG area is characterised by small tectonic movements (less than 1 mm/a), but an extensive use of its geopotentials (mining, groundwater usage, oil extraction, geothermal energy, CO<sub>2</sub> storage) inducing substantial surface displacements. To support an assessment of geohazards in the URG area, we aim to provide a map of the current 3D surface displacements with high precision and high spatial resolution derived from geodetic measurement techniques. We use data sets from levelling campaigns, SAR Interferometry (InSAR) and permanent GNSS sites to calculate horizontal and vertical surface displacements. Precise levellings carried out by the surveying authorities of Germany, France and Switzerland have been combined to form a network of levelling lines. The levelling benchmarks have been measured up to 5 times beginning in the end of the 19th century until recent years. A kinematic network adjustment is applied on the levelling data, providing an accurate solution for vertical displacement rates at levelling benchmarks with accuracies of 0.2 to 0.4 mm/a. InSAR is used to fill data gaps and to significantly increase the number of points in the interior of the levelling loops. To obtain a high accuracy for line of sight displacement rates, all available ERS-1/2 and Envisat scenes which cover a period from 1992 to 2000 and 2002 to 2010, resp., are processed using StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers). Data from ascending as well as descending orbits is used to separate vertical and horizontal components. In addition, coordinate time series of the GNSS Upper Rhine Graben Network (GURN) sites are analysed primarily to support a derivation of the horizontal velocity field of the URG.

The velocity estimates at more than 14,000 levelling benchmarks deliver a conclusive map of recent linear height changes for the whole URG area. In general, the Graben interior subsides with a rate of 0.5 to 0.8 mm/a relative to the shoulders. Locally, anthropogenic displacements induced by, e.g., mining, oil or groundwater extraction, are detected. A case study in an oil extraction area close to the city of Landau compares the results for surface movements derived from levelling and InSAR and demonstrates the advantages of a joint interpretation of the techniques.

## Rifting S1-2.003

### *Intraplate Tectonics and Seismic Deformation in the Upper Rhine Graben: Constraint of a Seismic Gap*

**MEGHRAOUI, M.\*<sup>1</sup>, Doubre, C.<sup>1</sup>, Lambotte, S.<sup>2</sup>, Masson, F.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>EOST-IPGS, Dynamique Globale et Déformation Active, Strasbourg, Frankreich, <sup>2</sup>EOST-IPGS, Sismologie, Strasbourg, Frankreich

The low rate of active deformation in intraplate Europe suggests that it corresponds to a stable continental region. However, the historical seismicity is noteworthy and moderate to large damaging earthquakes have occurred in the Upper Rhine Graben (URG). The 18 October 1356 shallow and damaging earthquake (M<sub>w</sub> 6.5) in Basel is the largest known historical seismic events in the southern URG. Other moderate (with M < 6.5) but damaging earthquakes in 1289, 1574, 1728, 1733, 1737, 1871, 1903, 1933 and 1952 have been reported in the northern URG. The occurrence of these latter seismic events have to be taken into account in order to mitigate the current seismic risk in this region which can be addressed by the identification of the

active faults together with their Holocene to present-day seismic behaviour.

Using the historical and instrumental seismicity, the previous tectonic studies and geodetic measurements (conventional and GPS), we analyse the rate of active deformation of the Upper Rhine rift system. A major issue is the assessment of the size and timing of pre-historical earthquakes on the newly identified seismogenic faults of the Upper Rhine graben. Geodetic levelling and recent GPS surveys seem to indicate ~1 mm/yr of vertical velocity of the Upper Rhine graben relatively to the Vosges and Black Forest.

The historical and instrumental earthquake distribution indicates a clear lack of seismic events in the northern URG. This seismic gap may depend on the episodic behaviour of the active faults characteristic of intraplate domains (e.g., New Madrid region, Central Australia, Mongolia, etc.). Paleoseismic results show that return periods for earthquakes similar to the 1356 Basel event are of the order of 2500 years. Considering that reliable historical seismic records may not date back to more than 1000 years, it implies that other large undocumented earthquakes in the region may be missing in the seismicity catalogues. Hence, we note the necessity to achieve a comprehensive inventory of potentially active faults in the URG. Field investigations in active tectonics and geodesy coupled with detailed studies of the historical and instrumental seismicity are crucial to bring key informations on the seismic gap area of the northern URG in order to revisit the seismic risk in this region.

## Rifting S1-2.004

### *The mantle below the Upper Rhine Graben: What we know and what we don't know*

**Ritter, J.\***

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

The Upper Rhine Graben (URG) is an intracontinental rift and branch of the European Cenozoic Rift System, located in Southwest Germany and bordering to France and Switzerland. The URG has a SSW-NNE strike, a length of about 320 km and an average width of about 40-50 km. Its estimated crustal extension is just 3-5 km which occurred mainly in the Eocene and Oligocene. The structure of the lithosphere-asthenosphere system below the URG is still poorly known and there is relatively few data-based knowledge on the subcrustal structure.

Inside the graben the only seismic refraction study indicates that the crust is possibly thinned in the southern part. Three deep seismic reflection lines indicate an asymmetric detachment in the upper crust, but its continuation into the lower lithosphere is unknown. The results of a teleseismic tomography experiment in the 1990es across the southern URG indicate that there is presently no hot upper mantle or anomalous asthenospheric cushion below the southern URG. Within the more recent TIMO projects (Tiefenstruktur des Mittleren Oberrheingrabens) the Geophysical Institute of the KIT operated the KARlsruhe BroadBand Array (KABBA) in the URG since December 2004. Global and local seismicity was recorded with a varying number of stations, and we could also use recordings from 5 permanent broadband stations and several short-period stations. Using SKS splitting measurements it was possible to determine mantle anisotropy with high spatial resolution. The results indicate a mainly NE-SW fast polarisation direction which is not disturbed by the URG. Arrival times of teleseismic P-waves were determined manually with high precision (~0.05 s) at 0.5-2.0 Hz from a wide range of backazimuths and corrected for known crustal anomalies. Furthermore the slowness and backazimuth of the P-wavefronts were determined using array techniques to search for anomalies. As result no measurable seismic P-wave velocity anomaly was found related to the upper mantle underneath the URG. The analysis of S-to-P conversions with S-wave receiver functions indicates the top of a low shear wave velocity layer at 60 km depth. This is interpreted as lithosphere-asthenosphere boundary and has a similar depth below the Black Forest and Odenwald but seems to be deeper below the Vosges mountains. Thus the rupture of the lithosphere did not penetratively alter the lithospheric structure. The P-wave residuals and S-RF show no clear indication for lithospheric thinning.

## S1 Rifting Poster

### Rifting S1-P.001

*Modeling continental rifting with melting and melt extraction: Testing various mechanisms controlling the depth of the intrusion level*

**Wallner, H.\***, **Schmeling, H.**

Institut für Geowissenschaften, Goethe Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

Rifting is related to extension, necking and thinning of lithosphere. Associated to this process is an updoming of asthenosphere probably additionally heated by a plume nearby. As the P-T conditions in the asthenosphere are near the solidus involved variations may increase melting and melt fraction. Against conventional expectations on permeability at lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) depth a fast melt transport into and sometimes through the lithosphere often is observed. The intruded or infiltrated, solidified melt modifies composition and physical properties of the affected lithosphere.

Trying to model this process numerically we applied extraction and emplacement of melt replacing the fast transport in a slow viscous matrix. Thereupon, we were faced to the problem defining an intrusion level for the melt. Studying it, we concluded that the boundaries of the emplacement zone should be movable, process dependent, and more self-consistent. Here we present a preliminary study exploring several empirical attempts to relate time dependent states to an upward moving boundary for intrusion. Future aim is to developing a physical based approach for this relation.

Modeled physics is based on thermo-mechanics of visco-plastic flow. The equations of conservation of mass, momentum and energy are solved for a multi component (crust-mantle) and two phase (melt-matrix) system. Rheology is temperature-, pressure-, and stress-dependent. In consideration of depletion and enrichment melting and solidification are controlled by a simplified linear binary solid solution model. The Compaction Boussinesq Approximation and the high Prandtl number approximation are used, elasticity is neglected and geometry is restricted to 2D. Approximation is done with the Finite Difference Method in an Eulerian formulation (FDCON).

Above a critical fraction limit melt is extracted and intruded above. The lower boundary of the emplacement zone is defined by the LAB or uppermost front of extraction. The upper boundary is related to various quantities, particularly temperature, melt curve, melt front, stress, dynamic pressure and more. Changes of intrusion level imply different convection patterns affecting intensity of erosion of the lower lithosphere, doming rate of asthenosphere and melt-induced weakening. Thus, the shape and location and therefore its dependence influences intensively the dynamics of rifting.

## S2 Wellenforminversion

### Wellenforminversion S2-1.001

*Combined inversion of broad-band and short-period waveforms for regional seismic moment tensors*

**Donner, S.<sup>\*1</sup>, Krüger, F.<sup>1</sup>, Rößler, D.<sup>2</sup>, Ghods, A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Helmholtz Centre Potsdam - GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran, Islamische Republik

Global catalogues of seismic moment tensors are nowadays standard in seismology. They are suitable for global studies on e.g. plate tectonics, stress maps, and subduction zone geometries. However, for studies on the seismotectonics of tectonically active regions having a high hazard potential more space-resolved catalogues of moment tensors are needed. Especially, moment tensors of moderate to small earthquakes ( $M \leq 4.5$ ) need to be included. In some regions, a sparse and heterogeneously distributed network of broad-band stations hampers a comprehensive retrieval of moment tensors seriously.

We present a novel approach for retrieving seismic moment tensors, especially of smaller earthquakes, combining data of broad-band and short-period stations. The broad-band waveforms are inverted in a frequency range suitable for surface waves (0.01 - 0.1 Hz). For the short-period data a frequency range suitable for body-waves is applied (0.2 - 0.5 Hz). In addition, a criterion is established as a tool for selecting the most plausible solution out of all possible solutions derived due to the iterative inversion approach based on varying starting solutions. This selection criterion is based on the residual from inversion, the double-couple part of the solution, and the number of non-fitting first-motion polarities. The success of the approach mainly depends on the appropriate restitution of the short-period data and the availability of a velocity model, which models surface- and body-waves well.

As a case study, we selected earthquakes with magnitudes  $3.2 \leq M_w \leq 4.1$  from the Alborz mountains in northern Iran. We show, that the approach supplies reliable and stable moment tensor solutions where inversion of broad-band data alone fails. The selection criterion helps to better distinguish between competing solutions. Within the Alborz mountains, the magnitude threshold for which inversion is possible decreased from  $M_w 4.5$  to  $M_w 3.0$  and thus the number of theoretically processable earthquakes increased from 8 to 73 events per year on average. The approach enables successful retrieval of regional seismic moment tensors wherever a sparse station network and/or the lack of larger earthquakes has prevented it.

### Wellenforminversion S2-1.002

*Attenuation and scattering tomography of the deep plumbing system of Mount St. Helens*

**De Siena, L.<sup>\*1</sup>, Waite, G.P.<sup>2</sup>, Moran, S.<sup>3</sup>, Klemme, S.<sup>4</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Dept. of Geological Engineering and Sciences, Michigan Technological University, Houghton, Michigan, USA, <sup>3</sup>US Geological Survey, Vancouver, USA, <sup>4</sup>Institut für Mineralogie, Westfälische Wilhelms Universität, Münster, Deutschland

We present a combined 3D *P*-wave attenuation, 2D *S*-coda attenuation, and 3D *S*-coda scattering tomography model of magmatic/fluid chambers, feeding systems, and sediments below Mount St. Helens (MSH) volcano between depths of 0 and 18 km. High scattering and high attenuation shallow anomalies are indicative of magma and fluid cumulates within and below the volcanic edifice down to 6 km depth. These structures induce a combination of resonant-scattering and strong attenuation on any seismic wave-field recorded north and east of the volcanic cone. North of the cone between depths of 0 and 10 km a low-velocity, high-scattering, and high-attenuation north-south trending trough is attributed to thick piles of Tertiary marine sediments inferred to lie within the Saint Helens Seismic Zone (SHZ). A laterally-extended 3D scattering contrast at depths of 10 to 14 km is related to the boundary between upper and lower crust, and caused in our interpretation by the large scale interaction of the Siletz terrane with the Cascade arc crust. This contrast presents a low scattering, 4-6 km<sup>2</sup> "hole" under the north-eastern flank of the volcano: we infer that this section represents the main path of magma ascent from depths larger than 6 km at MSH. The

images suggest a small north-east shift in the lower plumbing system of the volcano as well as the absence of any large melt sill extending between depths of 0 and 18 km. We conclude that combinations of different non-standard tomographic methods, and particularly the application of full-waveform tomography to highly heterogeneous media, represent the future of seismic volcano imaging.

## **Wellenforminversion S2-1.003**

### *Monitoring von elastischen und petrophysikalischen Materialparametern eines porösen Gas-Speichers mit einer 2D-Wellenformtomographie*

**Köhn, D.\*, al Hagrey, S.A., Rabbel, W.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Die verstärkte Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre, sowie energiepolitische Erwägungen führen zu einem starken Bedarf an erneuerbaren Energiequellen. Allerdings zeigen die meisten erneuerbaren Energiequellen große Schwankungen in ihrer Verfügbarkeit. Um trotzdem den öffentlichen Energiebedarf decken zu können, muß diese zwischengespeichert werden. Neben elektrochemischen Speichern besteht auch die Möglichkeit der Injektion von Gas (Druckluft, Methan, Wasserstoff) in abgeschlossene Untergrundstrukturen, wie Kavernen oder Salzwasseraquifere. Ziel des ANGUS+ Projektes ist die Entwicklung von Modellierungs- und Inversionsverfahren, um die Ausbreitung von Gas innerhalb der Speicherformation zu verfolgen und mögliche Leckagen zu detektieren. Dies ist eine große Herausforderung, da die Änderungen der physikalischen Parameter im Untergrund durch die Gasinjektion sehr klein sind. Eine unserer Aufgaben innerhalb des ANGUS+ Projekts ist die Anwendung einer elastischen 2D time-lapse full waveform inversion (FWI), in Kombination mit elektrischen und gravimetrischen Verfahren, auf unterschiedliche synthetische Modellszenarien. Anhand eines realistischen virtuellen Injektionsszenarios in einen Salzwasseraquifer im Norddeutschen Becken soll die Auflösung der elastischen Wellenformtomographie demonstriert werden. Neben der Form des Gas-Plumes, sowie der Verteilung der elastischen Materialparameter (P-Wellengeschwindigkeit, S-Wellengeschwindigkeit, Dichte), lassen sich durch Inversion des Gesteinsmodells auch Aussagen über die Verteilung von Gassättigungen im Untergrund treffen. Eine einfache Sensitivitätsanalyse soll dabei eine grobe Abschätzung liefern, wie genau petrophysikalische Parameter, sowie das für die FWI verwendete Hintergrundmodell bekannt sein müssen, um sinnvolle Ergebnisse zu erhalten. Hierbei wird auch der Einfluß von Noise auf die Genauigkeit der Inversionsergebnisse untersucht.

Acknowledgments: Diese Arbeit wurde im Rahmen des ANGUS+ Forschungsprojekts, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durchgeführt.

## **Wellenforminversion S2-1.004**

### *High resolution velocity and attenuation characterisation of aquifers using crosshole GPR full-waveform inversion*

**Klotzsche, A.\*, van der Kruk, J., Vereecken, H.**

Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland

Compared to conventional ray-based inversion schemes that use only a small fraction of the signal, the gradient-based full-waveform inversion of crosshole GPR data, that considers essential parts of the entire waveform, can significantly improve the resolution of the subsurface images. Full-waveform inversion of GPR data returns dielectric permittivity and electrical conductivity images that are related to the velocity and attenuation, respectively. To obtain reliable inversion results and not to get stuck in local minima, a good starting model is necessary that yields synthetic data that is overlying with at least half a wavelength of the measured data. Moreover, a simultaneous updating of the velocity and attenuation is necessary where the step-lengths for the velocity and attenuation are calculated separately. Standard ray-based methods are often applied to obtain velocity and attenuation starting models. However, close to the water table these results are often not trustable due to the low ray coverage and the starting model needs to be adapted by including the water table. Also in the presence of low velocity waveguide layers, that can be identified by elongated high amplitude data, the starting model needs to be adapted accordingly. The full-waveform inversion was used to characterize saturated aquifers at several hydrogeophysical test sites including the

Widen site (Switzerland), the Boise Hydrogeophysical test site (USA), and the Krauthausen site (Germany). Here, we optimized the acquisition and computation demand by using a semi-reciprocal transmitter-receiver layout and used a combined zero-offset and multi-offset gather to correct for time drifts. The waveform inversion was able to provide decimeter scale high resolution attenuation and velocity images that indicate underlying impermeable lacustrine sediments, and high contrast layers that can be related to changes in porosity, respectively. In all cases, an excellent fit between the measured and full-waveform modelled data in terms of shape and amplitude of the waveforms can be observed, which indicates that the full-waveform inverted model well explains the measured data. Comparison with Natural gamma logs, Neutron-Neutron logs and hydraulic pumping tests confirmed the resolved structures.

## **Wellenforminversion S2-1.005**

### *Combined frequency- and time-domain full-waveform inversion of cross-hole GPR data*

**Yang, X., van der Kruk, J.\*, Klotzsche, A., Vereecken, H.**

Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland

Unprecedented high resolution images of the permittivity and conductivity that are related to electromagnetic velocity and attenuation, respectively, can be obtained by full waveform inversion (FWI) of ground-penetrating radar (GPR) data. Time- and frequency-domain implementations exist that each have its own advantages and disadvantages. The benefits of frequency- domain FWI (FD-FWI) are that 1) frequency-dependent medium properties can be easily incorporated, 2) a wide range of misfit functions can be easily implemented in frequency domain, and 3) a few discrete frequencies can be used to proceed sequentially from low to high frequencies in case of high-contrast objects. Time-domain FWI (TD-FWI) is more efficient for large number of unknowns such as in 3D applications.

Here, we introduce a combined frequency-time domain FWI (FD-TD-FWI) that combines both frequency- and time-domain inversion algorithms to benefit of the advantages of both approaches. The 2D frequency- and time-domain forward modeling is performed using the 2D finite difference frequency domain (FDFD) and the 2D finite difference time domain (FDTD) method, respectively. The inversion algorithms in frequency and time domain simultaneously update the electromagnetic velocity and attenuation by calculating individual velocity and attenuation gradients and corresponding step lengths. A high contrast synthetic data set was inverted using the TD-FWI by starting the inversion with only the low-frequency content of the data using a band-pass filter. Resolution associated with the high frequencies was achieved by progressively expanding to wider bandwidths as the iterations proceed. The FD-FWI was started with one single frequency and progressively included up to 20 frequencies. The obtained velocity results were very similar, whereas the obtained attenuation results showed more noise for the FD-FWI. The final FD-TD-FWI inversion results returned the best inversion results with the smallest data misfit, model misfit, and the smallest remaining gradients. Experimental crosshole data were inverted with the TD-FWI, FD-FWI and the FD-TD-FWI. Again, the FD-TD-FWI returned the smallest misfit while using the shortest computation time and smallest computational resources.



## Wellenforminversion S2-2.001

### *Full Waveform Inversion in kristallinen Festgestein: Dekonvolution der Empfängercharakteristik* **Heider, S.<sup>1</sup>, Jetschny, S.<sup>2</sup>, Giese, R.<sup>3</sup>, Bohlen, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>PGS, Oslo, Norwegen, <sup>3</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

Im GFZ-Untertage-Labor im Forschungs- und Lehrbergwerk "Reiche Zeche" der TU Bergakademie Freiberg haben wir im kristallinen Festgestein mit einer magnetostriktiven Vibrationsquelle seismische Daten aufgezeichnet. Ziel ist es, das Anwendungspotenzial und das Auflösungsvermögen der elastischen Full Waveform Inversion (FWI) für die hochauflösende Erkundung des untertägigen Raums zu untersuchen, um z.B. die Sicherheit bei Baumaßnahmen zu gewährleisten. An dreißig 3-Komponenten Empfängern, die entlang von drei Galerien um das Messgebietes in einem Abstand von ca. 4 bis 5 m, meist alternierend in einer Tiefe von 1 bis 2 m im Fels installiert sind, wurden die seismischen Signale von 76 Quellpositionen aufgezeichnet. In den Untersuchungen mittels FWI wurden nur die direkten P-Wellen berücksichtigt, da diese unter anderem ein gutes Signal-Rauschverhältnis aufweisen.

Ein synthetischer 2-D FWI-Test mit der gleichen Messgeometrie wie bei der Feldmessung wurde für ein zufälliges Geschwindigkeitsmodell, das den lokalen Gneis sehr gut beschreibt, erfolgreich durchgeführt. Das Startmodell für die FWI war ein geglättetes Geschwindigkeitsmodell einer Laufzeit-tomographie der Daten, welche mit dem Zufallsmodell simuliert wurden. Nach 75 Iterationen konvergierte die Inversion. Das invertierte Modell enthält groß- und kleinräumige Strukturen, wie sie auch im bekannten, wahren Zufallsmodell enthalten sind, jedoch nicht im Startmodell.

Bei der Inversion von Felddaten sind das Quellensignal und mögliche, von Empfängern verursachte Effekte zunächst unbekannt. Um Änderungen der Wellenform unter Berücksichtigung der Quell- und Empfängerposition zu analysieren, wurde eine Ähnlichkeitsanalyse angewendet. Die Analyse ergab, dass die Wellenform hauptsächlich durch kleinräumige Heterogenitäten des Gneises in der Nähe des Empfängers individuell beeinflusst wird. Ein weiterer, stark ausgeprägter Effekt ist die Reflexion der P-Welle an der Tunnelwand (Ghost), die sichtbar von der Tiefe des Empfängers im Fels abhängt. Trotzdem zeigen Vorwärtsmodellierungen mit verschiedenen Modellen, dass man die beste Übereinstimmung zwischen synthetischen und Felddaten erhält, wenn die Tunnelwand nicht berücksichtigt wird. Eine Dekonvolution zur Anpassung der Felddaten an 2-D elastische synthetische Seismogramme ohne Berücksichtigung der Tunnelwand führte zu einer Reduzierung der empfängerseitigen Effekte. Nach der Dekonvolution ist die Kohärenz der Signale zwischen allen Empfängern sichtbar verbessert.

## Wellenforminversion S2-2.002

### *Benefits of long offsets for the Full Waveform Inversion*

**Jetschny, S.\*, Goertz, A., Pedersen, M.W., Kelly, S., Tsimelzon, B., Mavilio, A.V., Day, A.**

Petroleum Geo-Services, Geoscience & Engineering, Houston, USA

More often, marine seismic exploration takes place in complex geological regimes and faces the problem of salt and sub-salt imaging in order to target reservoirs. In recent years, a lot of effort has been, thus, invested in developing advanced acquisition techniques in order to improve the ability to both determine the shape, size and location of salt bodies, as well as to reconstruct the sediment structure in the vicinity of the salt. As an alternative to wide azimuth, making use of long offset data is a feasible approach since it provides recordings from reflections and refractions originated below the salt. In contrast to standard seismic processing, the Full Waveform Inversion (FWI) method can improve from such long offset data for the salt and sub-salt imaging.

In this work we plan to quantify the benefits of long offset data in terms of processing streamer data with different maximum offsets. The processing includes the generation of a suitable starting model using reflection tomography, the application of the full waveform inversion to gain a more accurate high resolution velocity model and finally a 3D Kirchhoff depth migration. Benefits will be quantified by considering both, data and model error as well as comparing the migrated shot gathers, i.e. evaluate the flatness of the gathers after migration. The overall goal is to derive model-independent conclusions for the design of streamer surveys.

The synthetic case study will be performed using first a 2D slice of the SEAM model and in a later project

phase the full 3D SEAM volume which includes a shallow and complex salt body. From the reflection tomography we can assume to know the shallow sediment structure as well as the top line of the salt. This in situ information will be included in the starting model. By applying a Finite Difference, time domain, acoustic full waveform inversion, we aim to reconstruct the full shape of the salt body as well as the sediment structure below the salt. In order to stabilize the FWI scheme, we apply time windowing and frequency filtering to the data. Iteratively passing the velocity model back and forth between reflection tomography and the FWI can further improve the inversion robustness and the resolution quality.

## **Wellenforminversion S2-2.003**

### *Anwendung einer elastischen 2D Wellenformtomographie auf oberflächennahe SH-Wellendaten*

**Dokter, E.\*, Köhn, D., Wilken, D., Rabbel, W.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Anhand eines oberflächennahen reflexionsseismischen SH-Wellendatensatzes soll die Anwendbarkeit einer elastischen SH-Wellenforminversion (FWI) auf reale Felddaten untersucht werden. Grundlage der Untersuchung bildet ein Datensatz aus dem Ort Čachtice im Nordwesten der Slowakei. Ziel der SH-Wellenmessungen war die Kartierung möglicher alter Kellerstrukturen.

Die Akquisitionsgeometrie besteht aus 48 Quellen (Scherwellenanker) und 48 Geophonen im Abstand von jeweils 0.5 m verteilt auf einem 23.5 m langen Profil, wobei sich die Schusspunkte mittig zwischen den Empfängern befinden. Die Daten decken im Wesentlichen einen Frequenzbereich von 5 Hz bis 260 Hz mit sehr gutem Signal/Rauschverhältnis ab.

Bereits in den Rohdaten lassen sich neben der direkten S-Welle und der Lovewelle, eine deutliche Refraktierte, sowie schwache Reflexionseinsätze erkennen. Der Verlauf der Ersteinsätze für alle Schüsse deutet auf ein näherungsweise eindimensionales Gradientenmedium hin. Aus diesem Grund wird das Startmodell für die FWI mit dem Wiechert-Herglotz-Verfahren aus den gepickten Ersteinsatzzeiten aller Schüsse bestimmt. Die Auslagenlänge erlaubt hierbei eine Bestimmung des Geschwindigkeitsmodells bis in ca. 12 m Tiefe. Für das Dichtemodell wurde analog ein Gradient angenommen, der zwischen der oberflächennahen Lagerungsdichte ( $1500 \text{ kg/m}^3$ ) und einer typischen Dichte für Lehm ( $1900 \text{ kg/m}^3$ ) variiert.

Das Startmodell kann Laufzeiten, Amplituden und die Wellenform der Ersteinsätze recht gut erklären, insbesondere im mittleren Offsetbereich. Im Near- und Far- Offsetbereich gibt es relativ große Datenmisfits. Um diese weiter zu minimieren folgt im nächsten Schritt die Anwendung einer elastischen 2D SH-FWI.

Der Workflow der FWI umfasst die Verwendung einer globalen Korrelationsnorm als Zielfunktion, zur Kompensation von offsetabhängigen Amplitudenvariationen, sowie eine sequentielle Frequenzinversion kombiniert mit unterschiedlich langen Zeitfenstern. Um tiefe Strukturen besser aufzulösen, verwendet die FWI eine Energiepräkonditionierung der Gradienten.

Im Inversionsergebnis für die S-Wellengeschwindigkeit erkennt man mehrere Schichten mit deutlichen Grenzen, sowie einzelne räumlich isolierte Geschwindigkeitsanomalien. Die Strukturen im invertierten Dichtemodell korrelieren gut mit denen im Geschwindigkeitsmodell.

## Wellenforminversion S2-2.004

### *Anwendung einer (visko)elastischen 2D Rayleighwellenforminversion auf Ultraschalldaten*

**Köhn, D.\*, Meier, T.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Neben geophysikalischen Anwendungen von der globalen bis zur oberflächennahen Skala läßt sich die seismische Full Waveform Inversion (FWI) auch auf Ultraschalldaten zur zerstörungsfreien Prüfung von Straßenbelägen, Wänden, Fassaden, Statuen oder Säulen anwenden. Klassischerweise beschränken sich die Verfahren der zerstörungsfreien Materialprüfung auf die Auswertung der Laufzeiten von Raumwellen. Jedoch können Verwitterungseffekte oberflächennah zu starken Änderungen der elastischen Parameter führen. In diesem Fall bietet sich eine Anwendung der FWI auf Rayleighwellendaten an. Darüberhinaus ermöglichen Ultraschalldaten von Probekörpern mit bekannten Materialparametern, neben synthetischen Tests und analytischen Lösungen, eine Bestimmung der Genauigkeit von seismischen Modellierungs-/FWI-Codes.

Anhand von 3 Datenbeispielen wollen wir das Potential der 2D Rayleighwellenform Inversion veranschaulichen. Im ersten Fall wird die Genauigkeit der viskoelastischen Modellierung von Rayleighwellen, die Bestimmung des Quellwavelets und durch die 2D FWI bedingte Artefakte anhand eines homogenen Plexiglasblocks mit genau definierten elastischen Materialparametern demonstriert. Im Anschluß folgen zwei Datenanwendungen auf Ultraschallmessungen, die an der Porta Nigra (Trier), bzw. an Pflastersteinen in Pompeji durchgeführt wurden. Oberflächennahe Heterogenitäten führen zu lateralen Variationen der Rayleighwellengeschwindigkeiten. Neben den elastischen Parametern spielt hierbei auch die Dämpfung der Rayleighwelle eine entscheidende Rolle. Um dies zu veranschaulichen werden elastische 2D FWI Ergebnisse mit und ohne Berücksichtigung von viskoelastischer Dämpfung als passiver Parameter verglichen.

## Wellenforminversion S2-2.005

### *Anwendung der 2D Wellenforminversion auf flachseismische Rayleighwellen - Feldbeispiel Mammolshain*

**Schäfer, M.\*<sup>1</sup>, Groos, L.<sup>1</sup>, Forbriger, T.<sup>2</sup>, Bohlen, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>Black Forest Observatory (BFO), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Schiltach, Deutschland

Wir zeigen eine elastische Wellenforminversion flachseismischer Felddaten zur Abbildung einer 2D Struktur im Untergrund. Die Startmodelle für die Kompressions( $V_p$ )- sowie die Scherwellen( $V_s$ )-Geschwindigkeit wurden aus der Laufzeittomographie der Ersteinsätze von P- und S-Wellen ermittelt. Wir invertieren nach  $V_p$ ,  $V_s$  sowie Dichte. Bei den Inversionen zeigt sich, dass die Rayleighwellen eine Eindringtiefe von ca. 30 m haben. Desweiteren diskutieren wir den Einfluss des Startmodells auf das Inversionsergebnis. Der 2D flachseismische Felddatensatz wurde senkrecht zu einer vertikalen Verwerfung auf dem südlichen Rand des Taunus bei Mammolshain aufgezeichnet. Im Nordwesten der Verwerfung befindet sich oberflächennah Seritzgneiss, während im Südosten eine dicke Sedimentschicht vorherrscht. Um die 2D Annahme zu überprüfen, haben wir zwei Profile (Abstand 14 m) senkrecht zur Verwerfung aufgebaut. Auf diese beiden Datensätze haben wir die Wellenforminversion angewendet. Die beiden rekonstruierten Scherwellengeschwindigkeitsmodelle stimmen in den groben Strukturen gut überein. Bei beiden Profilen ist eine erfolgreiche Datenanpassung bisher nur bis zu den Frequenzen von 20 Hz möglich. Hiermit zeigen wir das große Potential der Wellenforminversion von flachseismischen Rayleighwellen, um laterale Variationen der elastischen Eigenschaften im Untergrund abbilden zu können. Dies ist z.B. für geotechnische Fragestellungen von großer Bedeutung.

## Wellenforminversion S2-3.001

### *Modularized seismic full waveform inversion based on waveform sensitivity kernels - The software package ASKI*

**Schumacher, F.\*, Friederich, W.**

Ruhr-Universität, Bochum, Deutschland

We present a seismic full waveform inversion procedure for arbitrary heterogeneous earth models based on waveform sensitivity kernels. The kernels are derived from Born scattering theory as the Fréchet derivatives of linearized frequency-domain full waveform data functionals, quantifying the influence of elastic earth model parameters and density on the data values. For a specific source-receiver combination, the kernel is computed from the displacement and strain field spectrum originating from the source evaluated throughout the inversion domain, as well as the Green function spectrum and its strains originating from the receiver.

In the iterative inversion procedure, the solution of the forward problem, the computation of sensitivity kernels and the derivation of a model update is held completely separate. In particular, the model description for the forward problem and the description of the inverted model update are kept independent. Hence, the resolution of the inverted model as well as the complexity of solving the forward problem can be iteratively increased (with increasing frequency content of the inverted data subset). This optimizes the computational effort of both, solving the forward problem and computing the model update. The required interconnection of arbitrary unstructured volume and point grids is realized by generalized integration rules and 3D-unstructured interpolation methods. The model update is inferred solving a minimization problem in a least-squares sense, resulting in Gauss-Newton convergence of the overall inversion process.

The inversion method was implemented in the modularized software package ASKI (Analysis of Sensitivity and Kernel Inversion), which provides a generalized interface to arbitrary external forward modelling codes. So far, the 3D spectral-element code SPECFEM3D (Tromp, Komatitsch and Liu, 2008) and the 1D semi-analytical code GEMINI (Friederich and Dalkolmo, 1995) in both, Cartesian and spherical framework are supported. ASKI is freely available under the terms of the GPL at [www.rub.de/aski](http://www.rub.de/aski). Since the independent modules of ASKI must communicate via file output/input, large storage capacities need to be accessible conveniently. Storing the complete sensitivity matrix to file, however, permits the scientist full manual control over each step in a customized procedure of sensitivity/resolution analysis and full waveform inversion, in applications ranging from seismological to engineering contexts.

## Wellenforminversion S2-3.002

### *Diagonal Hessian approximation for preconditioning in 3D elastic full waveform inversion*

**Butzer, S.\*, Kurzmann, A., Bohlen, T.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Full waveform inversion has the potential to recover high resolution models for multiple parameters by minimising the misfit between modeled and observed data. We apply a 3D elastic full waveform inversion based on the gradient method. Gradients are calculated as multiplication of forward and conjugate adjoint wavefields in frequency domain. Due to the geometrical amplitude decay of these wavefields, we observe high amplitudes in the gradients around source and receiver positions. Thus, a successful inversion requires a good preconditioning. We apply the inverse of a diagonal Hessian approximation for preconditioning, which is a physically founded approach. Nevertheless, its calculation is computationally expensive, as it requires one additional forward simulation for each receiver, and we therefore calculate it only once for each frequency range. We show results for two examples, a transmission geometry example and a reflection geometry example. In transmission geometry, source and receiver artefacts are removed sufficiently and the inversion is successfully performed. Still, the effects are much more profound in the reflection geometry example. Here, the gradient without preconditioning is characterised by high amplitudes in shallow areas. This is due to the acquisition geometry and the presence of surface waves which amplitudes rapidly decay with depth. The application of our preconditioning approach mitigates these effects and allows an improved model update also in deeper areas of the subsurface.

## Wellenforminversion S2-3.003

### *Seismische 3D Wellenforminversion in triklin anisotropen Medien*

**Köhn, D.<sup>\*1</sup>, Hellwig, O.<sup>2</sup>, De Nil, D.<sup>1</sup>, Rabbel, W.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland, <sup>2</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

In den letzten Jahren wurde die seismische Full Waveform Inversion (FWI) auf einfache elastische Probleme, wie den isotropen, transversal isotropen (TI) oder transversal isotropen Fall mit vertikaler Symmetrieachse (VTI) angewendet. In dieser Arbeit wird die FWI auf den maximal möglichen anisotropen Fall mit 21 freien elastischen Materialparametern (triklin) erweitert.

Neben einer ausführlichen Einführung in die Theorie der anisotropen FWI, werden eine 3D-Finite Differenzen Implementierung zur Lösung des Vorwärtsproblems, sowie eine Sensitivitätsstudie anhand eines einfachen Testproblems vorgestellt. Dieses Testproblem besteht aus einem homogenen, triklin anisotropen Vollraum, in dem räumlich voneinander getrennt 7 Kugeln verteilt auf 3 Ebenen eingebettet sind. In jeder Kugel weicht eine Komponente des elastischen Tensors um 5% vom Hintergrundmedium ab. Die Auflösung der einzelnen Kugeln, sowie Mehrdeutigkeiten zwischen verschiedenen elastischen Parametern lassen sich auf diese Weise systematisch und anschaulich untersuchen. Mit Hilfe des Testproblems wird die Anwendbarkeit der anisotropen 3D FWI für eine Tomographie-, VSP- sowie reflexionsseismische Akquisitionsgeometrie diskutiert.

## Wellenforminversion S2-3.004

### *3D field applications of Full Waveform Inversion for enhanced imaging*

**Ratcliffe, A.<sup>1</sup>, Conroy, G.<sup>1</sup>, Vieira da Silva, N.<sup>1</sup>, Vinje, V.<sup>2</sup>, Jupp, R.<sup>1</sup>, Wombell, R.<sup>1</sup>, Mothi, S.<sup>3</sup>, Hertweck, T.<sup>\*4</sup>**

<sup>1</sup>CGG, Crawley, UK, <sup>2</sup>CGG, Oslo, Norwegen, <sup>3</sup>CGG, Houston, USA, <sup>4</sup>CGG, Swanley, UK

Full Waveform Inversion (FWI) is a topic of great interest in the oil and gas industry, facilitated in recent years by significant advances in computing power. It aims to obtain superior velocity models by minimizing the difference between observed and modelled seismic data, and in field applications it is typically driven by the transmitted energy, i.e., diving and head waves. FWI utilises amplitude and phase of seismic waveforms to produce high-quality, high-resolution velocity models that benefit imaging of complex geological structures. These velocity models are often of so high a resolution that they can be interpreted by themselves. In many field applications the images of reservoirs are obscured by the large velocity contrasts that are found in near-surface features such as shallow channels or gas clouds. We show some recent examples in these environments to highlight the improvements in image quality that can be achieved with FWI.

The advent of broadband marine streamer techniques, such as a variable-depth streamer acquisition, delivers high-quality seismic data over a wider frequency bandwidth than standard streamer acquisition. Significantly, it provides usable signal down to 2.5 Hz which is of great value to the successful application of FWI. We show that FWI adapts naturally to variable-depth streamer acquisition and illustrate this with an example from the Central North Sea, where detailed velocity features associated with shallow channels in the near-surface geology are revealed. Migration with the updated FWI velocity model improves the imaging through the near surface to provide clearer images of the deeper structures.

As mentioned above, most industry applications of FWI primarily rely on transmitted energy to drive the update of the velocity model. A major shortcoming of this approach is that the extent of the velocity update is limited by the offset range in the acquired data. This means that in deep water acquisition settings, such as the Gulf of Mexico, towed streamer data requires very long offsets for a good update down to the depths of interest. In a second example we show the benefits of such a very long offset and full-azimuth acquisition scheme in determining the velocities of a complex overburden in the Keathley Canyon region of the Gulf of Mexico, allowing FWI to produce velocity models that track faults and the different geological formations such as carbonate and shale sections.

## S2 Wellenforminversion Poster

### Wellenforminversion S2-P.001

#### *The OpenTOAST initiative*

**Forbriger, T.<sup>\*1,2</sup>, Bohlen, T.<sup>1</sup>, Butzer, S.<sup>1</sup>, Groos, L.<sup>1</sup>, Mauerberger, S.<sup>3</sup>, Schäfer, M.<sup>1</sup>, and the TOAST-project team**

<sup>1</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>Black Forest Observatory (BFO), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Schiltach, Deutschland, <sup>3</sup>Institut für Mathematik, Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

We present the OpenTOAST initiative, which provides a platform to share software, knowledge, contacts, and data for seismic full-waveform inversion. Full-waveform inversion (FWI) is a leading-edge technique to exploit the full signal content of seismic data. It promises sub-wavelength resolution, high performance in resolving P- and S-wave velocity as well as sensitivity to variations in mass density. In particular for surface-wave studies, where conventional methods require lateral homogeneity of the structure under investigation, FWI opens a new window to subsurface imaging. Depending on the actual setting computational demands for FWI can be extraordinary and require state-of-the-art equipment and large computer clusters in the case of 3D application. Meanwhile a variety of implementations are developed in academic environments. The OpenTOAST initiative pursues the goal to make these implementations available in source code to a broader academic community as well as to end-users. The web portal OpenTOAST.de is a platform to share software, knowledge, contacts, and data with others, publicly and free of charge. Computer programs are published free and open-source and are available under the GNU General Public License (GPL) in most cases. The OpenTOAST initiative was stimulated by the TOAST project which stands for "Toolbox for Applied Seismic Tomography". It will be prosperous on a give-and-take basis. Just like you will benefit from others sharing the results of their work, you are invited to contribute yours.

### Wellenforminversion S2-P.002

#### *Application of 3D acoustic full waveform tomography to a synthetic reflection experiment: a comparative study*

**Kurzmann, A.\*, Butzer, S., Bohlen, T.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Acoustic full waveform tomography (FWT) is a high-resolution imaging method to exploit the richness of recorded waveforms. It represents a local optimization method with the aim to find a subsurface velocity model which explains the full waveforms of the recorded data. In recent years, increasing computational power and resources allow the application of 3D FWT to overcome the limitations of 2D methods. In general, FWT is preferably performed in the frequency domain. In spite of a reasonable resource consumption, the 3D frequency-domain FWT is still highly demanding due to expensive seismic modelings. In contrast, FWT in the time domain utilizes more efficient modeling and moderate computing times. However, this is realized at the expense of a high memory consumption. In this work, we perform a synthetic study using a reflection experiment in a marine environment to compare a pure time-domain FWT with a hybrid method - the time-frequency FWT, which is a combination of frequency-domain and time-domain FWT. While the time-domain FWT is able to consider broad frequency bands of the recorded data, the hybrid method is limited to a selection of single frequencies. Apparently, the hybrid method is more sensitive to important constraints, such as the choice of the starting model or the illumination of the subsurface. In other words, a sparse acquisition geometry (used to reduce computing times) results in spatial aliasing at the inversion of higher frequencies and, thus, a poor model recovery at small wavelengths. In contrast, the pure time-domain FWT is more robust and able to reconstruct a reliable velocity model. However, its memory consumption is approximately three orders of magnitude higher compared to the hybrid FWT. Nevertheless, this work resembles an academic study. Here, the 3D acoustic FWT in the time-domain proves to be feasible in applications to small-scale problems.

## **Wellenforminversion S2-P.003**

### *Seismic Velocities and Attenuation of Rock Samples from Inversion of Ultrasonic Waveforms*

**Boxberg, M.S.\*, Lambrecht, L., Friederich, W.**

Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Ruhr-Universität, Bochum, Deutschland

Seismic waves are attenuated in most rocks. Besides the rock itself, reasons for this attenuation are the contents of pores, joints and fissures. For many applications it is important to quantify the attenuation. The quality factor  $Q$  is commonly utilized for this quantification. Previous laboratory experiments have shown that the determination of the attenuation using ultrasound measurements is not trivial. Using different methods described in literature, unreliable quality factors can be obtained. This study intends to assist the analysis of ultrasonic measurements with numerical methods. It aims to calculate more precise quality factors as well as accurate P- and S-wave velocities. Both two-dimensional and three-dimensional models of the cylindrical samples used in the laboratory are created and used for the calculation of synthetic seismograms. The underlying method is the spectral element method (SEM). First, it is checked whether it is generally possible to imitate the measured ultrasound seismograms by using this method. Because of the attenuation, the amplitude is smaller for long cylinders than for short cylinders. This decay is exploited to calculate the quality factor. For the practical use as a tool for analyzing laboratory measurements, it is desirable to apply an automated process. Therefore, an inversion procedure based on the Conjugate Gradient method which allows to invert for the seismic velocities is developed. It was found that it is generally possible to reproduce the seismograms using the SEM. However, it is necessary to use three-dimensional models to reproduce the whole waveform. Whereas two-dimensional models may only yield sufficient P-wave speeds. It is shown using synthetic data that good estimates of quality factors can be obtained by utilizing the amplitude decay. Though it is still difficult to obtain accurate values for real data. Furthermore, P-wave velocities from the inversion are more reliable than the S-wave velocities.

## **Wellenforminversion S2-P.004**

### *Forward modeling and waveform inversion of ultrasonic waveforms*

**Fehr, M.\*, Köhn, D.\*, Meier, T.\***

Institut für Geowissenschaften, Fachbereich Geophysik, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

## **Viscoelastic ultrasonic Rayleigh-waveform forward modeling of basic models**

The interpretation of measured ultrasonic Rayleigh surface wave data depends in most cases on geometrical simple distributions of viscoelastic material parameters, like seismic S-wave velocities and their quality factors. Therefore the effects of parameter variations have been investigated by the forward modeling of basic 1D-models, consisting of different combinations of layers, gradients, low velocity layers or even a simple half-space medium. Additionally "waveform catalogs" have been calculated and illustrated as images. We show that ultrasonic waveforms are highly-sensitive to the properties in the uppermost millimeters to centimeters. The catalog allows a quick and simple first estimation of the underlying model for a given measured dataset.

## **1D viscoelastic inversion of ultrasonic Rayleigh-waveforms acquired on an asphalt pavement at different medium temperatures**

In most waveform inversion data applications the influence of viscoelastic effects are neglected or only incorporated as passive material parameters. We present the results of ultrasonic surface wave measurements on an asphalt pavement at different medium temperatures ( $T = 4, 14, 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), which have caused obvious changes in the attenuation, waveforms and frequency content of the Rayleigh surface wave. Moreover a time-domain full waveform inversion of the in-situ measurements of the asphalt pavement has provided the seismic S-wave velocities and the quality factor  $Q$ . Attenuation effects observed in the waveforms as well as in the amplitude spectra have been confirmed through determined damping values of the inversion. Thereby the results document the indispensability of the quality factor for a 1D waveform inversion. Even with the complex and highly heterogeneous internal structure of an asphalt pavement, main

properties of the waveforms can be explained by relatively simple 1D models with a gradual increase of the velocity with depth. Both the S-wave velocity as well as average  $Q$   $\mu$  values are decreasing with increase of temperatures by about 15 % and 23 %, respectively for temperature difference of about 15 °C.

## Wellenforminversion S2-P.005

*Multi-scale reasonable attenuation tomography analysis (MuRAT): an imaging algorithm designed for volcanic regions*

**De Siena, L.<sup>\*1</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>, Aster, R.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Geosciences Dept., Warner College of Natural Resources, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA

The attenuation of body-wave amplitudes with propagation distance can be used to provide detailed tomographic images of seismic interfaces, fluid reservoirs, and melt batches in the crust. The high sensitivity of body-wave energies to high-scattering structures becomes an obstacle when we try to apply attenuation tomography to small-scale volcanic media, where we must take into account the complexities induced by strong heterogeneous scattering, topography, and uncertain source modeling in the recorded wave-fields. The MuRAT code uses a source- and site-independent coda-normalization method to obtain frequency-dependent measurements of P-to-coda and S-to-coda energy ratios. The code inverts these data for the geometrical spreading factor and the spatially-dependent quality factors ( $Q$ ), providing additional attenuation information to the regions where velocity tomography is available. A multi-step tomographic inversion is an additional tool of the code, designed to include clustered seismicity in the inversion as well as to account for the complex scattering effects induced by a volcanic cone or by any superficial highly heterogeneous structure on the direct and coda wave-fields. We use two small waveform datasets recorded at an active (Mount St. Helens) and at a quiescent (Mount Vesuvius) volcano to show how the code works. We also provide spatial and frequency limits to the feasibility of an attenuation tomography to these two regions with larger datasets. The seismicity located inside or under the volcanic edifice produces a low-frequency increase of the energy ratios with travel time in both areas. This is indicative of an anomalous concentration of energy which affects any waveform recorded on the cone, or produced inside the volcanic edifice or in the feeding system of the volcano. In our interpretation seismic source- or medium-dependent resonance is responsible for this effect. The corresponding data are therefore characterized by a quick loss of coherency and better modeled by the diffusion theory than by the Born approximation, possibly causing the break of the ray approximation. We remark that the spatially biased seismicity of Mount Vesuvius forbids a low-frequency (less than 10 Hz) attenuation tomography of the region by using passive data. The small number of data considered is instead the only obstacle to provide low-frequency attenuation images at Mount St. Helens volcano.

## Wellenforminversion S2-P.006

*Mapping the heterogeneous structures inducing seismic resonance at Mount St. Helens volcano*

**De Siena, L.<sup>\*1</sup>, Calvet, M.<sup>2</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie, Université Paul Sabatier, Toulouse, Frankreich

Fluid- and melt-filled cracks are key characteristics of volcanic structures, which may produce or increase complex frequency-dependent effects in the seismic wave-field. At Mount St. Helens volcano seismic signals are dominated by a 3 Hz resonant signature that increases S-wave coda energies at any lapse time from nucleation, and results in a negative coda quality factor if this quantity is obtained from the dependence of S-wave coda-energy on time. These effects are still partially visible in coda envelopes at 6 Hz and disappear at 9 Hz. Frequency-dependent 2D coda- $Q$  maps and 2D rise-time maps are therefore obtained from seismic envelopes filtered at 9 Hz in order to map the lateral variations of S-wave attenuation and S-wave scattering at high frequency. We also discriminate the lateral variations of P-wave heterogeneity in the region both by measuring and by 2D mapping of the root mean squared of the velocity fluctuations obtained from the vertical autocorrelation functions derived from P-wave velocity tomograms. Cluster analysis applied to the



three 2D maps shows that the zones of maximum lateral P-wave heterogeneity and S-wave attenuation are the cone and the southern part of the Saint Helens Seismic Zone. The coda envelopes at 3 Hz can still be modeled by using the diffusion equation in the entire region, or by obtaining the diffusion constant and the attenuation coefficient in each cluster. In the regions of maximum P-wave and S-wave heterogeneity diffusivities are one order of magnitude smaller than in the rest of the medium. Such a small diffusion constant is interpreted as an effect of resonant scattering induced by low-velocity melt- and fluid-structures inside and beneath the northern and central parts of the cone. Seismic resonance affects any wave-field produced or crossing the heterogeneous structures marked both by the cluster analysis and by very-low diffusivities. We infer that any small periodic driving force (seismic wave-field) acting on this region, comprised of hydrothermal, magmatic, and sediment systems, may act as an impulsive pressure transient, and produce large amplitude oscillations at 3 Hz. Resonance in the plumbing and sedimentary systems of MSH is the main phenomenon affecting low-frequency coda signals. This must be taken into account in order to apply full waveform tomography to volcanoes.

## Wellenforminversion S2-P.007

### *Seismotectonic implications for the Alborz mountains, N Iran, from regional seismic moment tensors*

**Donner, S.<sup>1</sup>, Krüger, F.<sup>1</sup>, Röbber, D.<sup>2</sup>, Ghods, A.<sup>3</sup>, Landgraf, A.<sup>1</sup>, Ballato, P.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Helmholtz Centre Potsdam - GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran, Islamische Republik

The Alborz mountains in northern Iran consists of a complex system of strike-slip and thrust faults with inherited overprinted thrust faults. Previous seismotectonic studies have mainly relied on structural field observations. Little is known about the 3-D geometry of structures, their kinematics and possible fault interaction. The reasons lie in a blurred pattern of seismicity depths due to large localisation uncertainties and a lack of available earthquake mechanisms. Seismic source studies exists locally but detailed source studies on a more regional scale are missing.

After retrieving an appropriate velocity model for waveform inversion and implementing a combined inversion of broad-band and short-period data, 40 regional seismic moment tensors of earthquakes with magnitudes  $3.2 \leq M_w \leq 6.2$  are determined for the entire Alborz mountains, doubling the so far available mechanisms. The new earthquake mechanisms are the base for some important seismotectonic findings for the Alborz mountains.

The main seismicity is restricted to the upper crust with depths shallower than 20 km. The only exception are events located at the NE border of the mountain range, where they might be connected with a large S-dipping thrust fault bounding the entire mountain range to the north. The obtained moment tensors separate in pure and oblique mechanisms. This separation confirms the existence of slip-partitioning as stated by other authors earlier. However, the slip-partitioning seem to be more complex than expected so far with not only one single mechanism controlling it over the entire range. There are indications that slip-partitioning locally may be dependent on depth and/or earthquake magnitude.

For particular regions, more detailed information could be derived. In the NW region of the Alborz there are indications for an abrupt change in the tectonic regime from mainly left-lateral motion to the SE to right-lateral motion to the NW. The analysis of aftershocks of the Mw 6.2 Baladeh earthquake sequence of 2004 exposed the activation of seismicity on a second plane with dip in opposite direction to the fault plane of the mainshock. Moment tensors of the NE region of the mountains, where centroids are deeper than for the remaining range, might reveal details about the geometry of a large thrust fault (Khazar fault). However, they also indicate a complex 3-D geometry of the fault and the information (moment tensors, strike of fault) are in parts contradicting.

## Wellenforminversion S2-P.008

*Full-waveform inversion of crosshole GPR data acquired at the Krauthausen test site*

**Güting, N.<sup>1</sup>, Klotzsche, A.\*<sup>1</sup>, Hyatt, C.<sup>2</sup>, Englert, A.<sup>3</sup>, Vanderborght, J.<sup>1</sup>, Vereecken, H.<sup>1</sup>, van der Kruk, J.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland, <sup>2</sup>formerly Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre, Jülich, Deutschland, <sup>3</sup>Ruhr University Bochum, Hydrogeology Department, Bochum, Deutschland

Reliable high-resolution 3-D characterization of aquifers helps to improve our understanding of flow and transport processes when small-scale connected structures have a strong influence. Crosshole ground penetrating radar (GPR) is a powerful tool for characterizing aquifers due to the method's high-resolution and sensitivity to porosity and soil water content. In this study, we present full-waveform inversion results of GPR crosshole data that were measured in the uppermost alluvial aquifer at the Krauthausen test site. Two semi-reciprocal measurements with spatial source and receiver sampling of 50cm and 10cm were acquired for each plane. Five adjacent crosshole planes over a length of 20m were inverted using the full-waveform inversion. Although each plane was inverted separately, consistent structures were observed where acquisition planes intersect, which indicates the robustness of the inversion process. Compared to ray-based methods, full-waveform inversion returns significant higher resolution images of dielectric permittivity and electrical conductivity. The obtained full-waveform inversion results are compared with clustered cone penetration test (CPT) data. Clusters were obtained by applying a k-means cluster algorithm using vertical profiles of mechanic cone resistance, natural gamma, bulk density and water content obtained from CPT. Preliminary results show a strong increase in permittivity below 4 meter depth that exactly matches the boundary between two CPT clusters and that indicates the abrupt change of gravel into underlying sand. These results are consistent with decreasing grain size and higher porosity of the sand compared to the gravel. Results further indicate that spatial variations of the layering of the CPT derived clusters at different locations match with structures that are derived from GPR measurements in the GPR image planes. We expect that an integrated analysis of CPT and GPR measurements allows a detailed mapping of the spatial distribution and the connectivity of hydrological structures in the field, which is highly important for predicting flow and transport in heterogeneous aquifers.

## Wellenforminversion S2-P.009

*Monitoring von Gaskavernen mit elastischer Wellenforminversion, mikroseismischen, elektrischen und gravimetrischen Verfahren*

**Köhn, D.\*, al Hagrey, S.A., De Nil, D., Rabbel, W.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Die verstärkte Emission von Treibhausgasen in die Atmosphäre, sowie energiepolitische Erwägungen führen zu einem starken Bedarf an erneuerbaren Energiequellen. Allerdings zeigen die meisten erneuerbaren Energiequellen große Schwankungen in ihrer Verfügbarkeit. Um trotzdem den öffentlichen Energiebedarf decken zu können, muß diese zwischengespeichert werden. Neben elektrochemischen Speichern besteht auch die Möglichkeit der Injektion von Gas (Druckluft, Methan, Wasserstoff) in abgeschlossene Untergrundstrukturen, wie Kavernen oder Salzwasseraquifere.

Ziel des ANGUS+ Projektes ist die Entwicklung von Modellierungs- und Inversionsverfahren, um die Ausbreitung von Gas innerhalb der Speicherformation zu verfolgen und mögliche Leckagen zu detektieren. Dies ist eine große Herausforderung, da die Änderungen der physikalischen Parameter im Untergrund durch die Gasinjektion sehr klein sind. Eine unsere Aufgaben innerhalb des ANGUS+ Projekts ist die Anwendung von (mikro)seismischen, elektrischen und gravimetrischen Verfahren auf unterschiedliche synthetische Modellszenarien zur Überwachung von Kavernenspeichern.

Um durch Rissbildung induzierte mikroseismische Ereignisse zu lokalisieren, verwenden wir eine elastische Reverse-Time Modellierung. Dabei werden die aufgezeichneten Seismogramme als Quellsignal an den Geophonpunkten in einem elastischen 2D-Untergrundmodell zeitlich zurückpropagiert. Das rückpropagierende Wellenfeld fokussiert an den Orten der mikroseismischen Ereignisse, so daß sich über eine Summation der seismischen Energie an jedem Untergrundpunkt die Ereignisse lokalisieren lassen. Das für die

Rückpropagation benötigte elastische Untergrundmodell basiert auf der Full Waveform Inversion eines reflexionsseismischen Datensatzes. Die Genauigkeit dieses automatischen Lokalisierungsverfahrens wird am Beispiel des komplexen EAGE BP 2004 Benchmarkmodells demonstriert.

Anhand von einfachen Speicherstrukturen wird darüberhinaus die Sensitivität von elektrischen und gravimetrischen Verfahren zur Kartierung der Form von Gasspeichern untersucht.

Acknowledgments:

Diese Arbeit wurde im Rahmen des ANGUS+ Forschungsprojekts, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), durchgeführt.

## **Wellenforminversion S2-P.010**

*Detektion von oberflächennahen Hohlräumen mit einer elastischen 2D SH-Wellenformtomographie - eine Auflösungsstudie*

**Dokter, E.\*, Köhn, D., Rabbel, W.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Hohlräume im oberflächennahen Untergrund bergen die Gefahr von Erdfällen, weshalb deren frühzeitige Detektion von besonderem Interesse ist. Da die Größen der Hohlräume von wenigen Zentimetern bis zu einigen Metern variieren können, ist ein möglichst hochauflösendes geophysikalisches Verfahren erforderlich. Im Gegensatz zu "klassischen" seismischen Abbildungsverfahren liefert die seismische Full Waveform Inversion (FWI) nicht nur Informationen über die Lage von Schichtgrenzen und Störkörpern, sondern darüberhinaus auch über die Verteilung der elastischen Materialparameter im Untergrund. Dies ist insbesondere für die Bewertung der Stabilität des Baugrundes aus geotechnischer Sicht von großem Wert.

Bisher beschränken sich die meisten oberflächennahen FWI-Anwendungen auf P-Wellen. In der folgenden Studie soll die Anwendbarkeit von SH-Wellen näher untersucht werden. Diese Wellen weisen im Vergleich zu P-Wellen im gleichen Medium kürzere Wellenlängen auf und ermöglichen dadurch eine höhere Auflösung der Untergrundstrukturen. Da das Vorwärts-/Inversionsproblem nur von der Verteilung zweier Parameter abhängt (S-Wellengeschwindigkeit  $V_s$ , Dichte  $\rho$ ), ergibt sich eine Reduktion der Rechenzeit um einen Faktor 5 im Vergleich zur Inversion von P-SV Wellen. Die Inversion von SH-Wellen wird exemplarisch an einem einfachen synthetischen elastischen Untergrundmodell mit den Abmessungen 25 x 25 m getestet, in dem sich ein Tunnel der Größe 2.8 m x 1.35 m in 6 m Tiefe befindet. Dieser Tunnel ist einmal mit Luft ( $V_s = 0$  m/s,  $\rho = 1.29$  kg/m<sup>3</sup>) und einmal mit Schlamm ( $V_s = 100$  m/s,  $\rho = 1400$  kg/m<sup>3</sup>) gefüllt. Das Hintergrundmedium besteht aus einem linearen  $V_s$ - und Dichtegradienten. Um eine reflexionsseismische Messung mit SH-Wellen zu modellieren wird eine Akquisitionsgeometrie mit 48 Schüssen und 48 Vertikalgeophonen, verteilt auf ein Profil von 24 m Länge verwendet, wobei die Maximalfrequenz des Quellsignals 80 Hz beträgt. Anhand eines optimierten FWI-Workflows, wird die Auflösung der S-Wellengeschwindigkeits- und Dichte-Modelle der unterschiedlich verfüllten Tunnel untersucht, sowie die Ergebnisse einer reinen  $V_s$ -Inversion denen einer gemeinsamen  $V_s$ - und Dichte-Inversion gegenübergestellt.

## **Wellenforminversion S2-P.011**

*Combined seismic and geoelectrical monitoring and quantification of CO<sub>2</sub> geostorage*

**Köhn, D.\*, al Hagrey, S.A., Benisch, K., Rabbel, W., Bauer, S.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

We present the application and verification of a combined geophysical approach for monitoring and quantifying the storage of CO<sub>2</sub> in deep saline formations using numerical simulations. Supercritical CO<sub>2</sub> is injected into a deep thin saline aquifer below a synthetic site of the North German Basin. The displacement of formation brine by CO<sub>2</sub> yields changes in bulk density, elastic moduli and electric resistivity. This justifies the application of seismic full waveform inversion (FWI) and electric resistivity tomography (ERT) to monitor and quantify the thin, deep gas plume. These goals are real challenges for the applied geophysical monitoring techniques. Densities and saturations are obtained from a numerical simulation of the injection process and are introduced into geophysical forward models which simulate the geophysical data

acquisition. These synthetic geophysical datasets are then inverted and evaluated with respect to changes in CO<sub>2</sub> saturation and are compared to the fully known CO<sub>2</sub> saturation of the numerical process model. Inversion results show that both seismic FWI as well as ERT techniques are capable to detect and map the thin CO<sub>2</sub> phase body (up to 30 m thickness) within the target storage formation (~2.2 km depth) from the beginning of the injection process to the end of the post-injection simulation time. Besides the structural mapping of the plume the FWI also delivers the distribution of elastic material parameters within the underground.

Both geophysical techniques recover the anomaly shape and amplitude accurately reflected by uncertainty analysis of the inversion results. Using the estimated density and resistivity models the CO<sub>2</sub> saturations within the storage formation are deduced via petrophysical models. Resulting gas saturations from both techniques are in good agreement with each other and with their corresponding input (true) values from the numerical flow simulation. However both methods cannot resolve the CO<sub>2</sub> phase fringe of only a few meters thickness. The ERT method profits from joint method application by using structural information from the FWI.

#### Acknowledgements

This study has been carried out within the framework of research projects "CO<sub>2</sub>Mopa" and "ANGUS+" funded mainly by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), and partially by EnBW Energie Baden-Württemberg AG, E.ON Energie AG, E.ON Gas Storage AG, RWE Dea AG, Vattenfall Europe Technology Research GmbH, Wintershall Holding AG and Stadtwerke Kiel.

## S3 Schwerefeld und Schweremessung

### Schwerefeld und Schweremessung S3-1.001

*Zur Abschätzung von Dichteverteilungen anhand von Widerstandsverteilungen am Beispiel der Cuxhavener Rinne (Projekt AIDA)*

**Menzel, P.\*, Götze, H.-J.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland

Durch Projekt-Partner im GEOTECHNOLOGIEN-Programm "AIDA - From Airborne Data Inversion to In-Depth Analysis" wurde uns die elektrische Widerstandsverteilung im Bereich der Cuxhavener Rinne zur Verfügung gestellt (Berhard Siemon, Angelika Ullmann, BGR Hannover, pers comm und Dominik Steinmetz, LUH Hannover, pers comm). Die Widerstände wurden aus einer 1D-Inversion von HEM-Messungen ermittelt. Die Aufgabe bestand darin, aus den elektrischen Widerstandswerten, die als 1D-Inversionsergebnissen nur unter den Fluglinien bekannt sind, repräsentative Dichten im gesamten Untersuchungsgebiet für eine 3D gravimetrische Modellierung abzuleiten.

Um diese Interpretation zu unterstützen und zu beschleunigen, wurde in dieser Arbeit ein heuristisches Verfahren entwickelt, welches es ermöglicht, die unbekannte Dichteverteilung anhand der gemessenen Widerstandsverteilung mit statistischen Methoden abzuschätzen, auch wenn keine physikalisch-petrophysikalischen Abhängigkeiten zwischen diesen beiden Parametern bekannt sind. Ausgehend von Informationen über die gegebene Widerstandsverteilung und Annahmen über eine mögliche statistische Verteilung der zu ermittelnden Dichte schätzt das Verfahren die relative Verteilung für diesen Zielparameter ab. Dabei wird einem Wert aus der gegebenen Verteilung ein Wert aus der Zielverteilung mit gleicher Auftretswahrscheinlichkeit zugeordnet. Testrechnungen belegen, dass in kurzer Zeit Aussagen über die relativen Änderungen des gesuchten Parameters innerhalb des Untersuchungsgebietes möglich sind. Das Verfahren erwies sich im Testgebiet Cuxhavener Rinne als robust, obwohl die ermittelten Dichtewerte stets einer kritischen Überprüfung unterzogen werden sollten.

Für das Testgebiet wurden die mit dem heuristischen Verfahren ermittelten Dichten in einem 3D Modellierprogramm (IGMAS+) verarbeitet und mit der gemessenen Schwere verglichen. Verglichen wurden die Modellierungsbefunde auch mit Ergebnissen einer früheren 3D Modellierung mit konventionell ermittelten Dichten.

Das entwickelte Verfahren kann zur Abschätzung beliebiger Parameterverteilungen anhand bekannter Verteilungen verwendet werden.

### Schwerefeld und Schweremessung S3-1.002

*Schwereanomalien und Schwerestörungen in der Region Oberrheingraben*

**Seitz, K.\*, Grombein, T., Heck, B.**

KIT, GIK, Karlsruhe, Deutschland

Geodynamische Prozesse sind oft begleitet von Massenverlagerungen und Verschiebungen, welche eine Signatur im Schwerefeld der Erde hinterlassen. Hochauflösende und präzise Schweredaten können zusammen mit weiteren geophysikalischen Informationen verwendet werden, um Diskontinuitäten und andere Strukturen in der Erdkruste zu erfassen. Ebenso können aus den Schwereinformationen Dichtemodelle abgeleitet oder validiert werden. In den geodätischen Randwertaufgaben nach Stokes oder Molodensky gehen ferner unterschiedlich definierte Schwereanomalien als Randwerte in die jeweilige Formulierung ein. Alle diese Schwerefeldstudien basieren auf hochauflösenden Schwereanomalien und

Für das Gebiet des Oberrheingrabens und die angrenzenden Regionen wurde aus verschiedenen Datenquellen ein Datensatz mit hochauflösenden, präzisen Schweremessungen kompiliert. Da die Schweredaten, Höheninformationen und Lagekoordinaten der Messpunkte im Allgemeinen nicht denselben geodätischen Bezug und Schwerebezug aufweisen, ist eine Transformation aller vorliegenden Informationen in ein einheitliches Datum erforderlich. Ebenso muss mit den verfügbaren DGMs verfahren werden, die unterschiedliche Rasterweiten und Koordinatenrahmen aufweisen können. Dies ist für die verwendeten DGMs der Landesvermessungen und das globale SRTM-Modell aus der Space Shuttle Mission der Fall.

Bevor präzise Karten der Schwereanomalien erstellt werden können, müssen alle eingehenden Informationen validiert und in dasselbe Datum transformiert werden.

Es werden Schwerestörungen, Freiluftanomalien, Schwereanomalien nach Molodensky und Bougueranomalien für die Region des Oberrheingrabens in unterschiedlichen Varianten vorgestellt. Diese Varianten unterscheiden sich z.B. in der Art und Weise, wie die topographische Reduktion berechnet wird. Hier werden planare, sphärische und ellipsoidische Berechnungen vorgenommen. Darüber hinaus werden Ergebnisse zum Einfluss des Integrationsradius bei der Geländereduktion vorgestellt.

### **Schwerefeld und Schweremessung S3-1.003**

#### *Ein neues PC-Steuerprogramm für das ZLS-Burris Gravimeter*

**Schulz, H.R.\***

Angewandte Gravimetrie Dr. Schulz, Rosengarten, Deutschland

Das bisherige Bedienen des ZLS-Burris-Gravimeters mit Hilfe eines PDAs ist eine deutliche Verbesserung zur Bedienung eines Metallfeder-Gravimeters. Es treten in der praktischen Geländearbeit aber Situationen auf, die einer Verbesserung der Software und der computertechnischen Hardware nahelegen. Insbesondere das Handling beim Datentransfer aus der Palm-Welt in die PC-Welt ist bei manchen Konfigurationen nicht ganz unproblematisch. Die Anzeige zur laufenden Messung, schon durchgeführter Messungen und die nicht komplette Abspeicherung von vorhandenen und auch angezeigten Angaben sind verbesserungswürdig. Das Ziel war ein kleines nützliches PC-Tool zu entwickeln, das diese Mankos behebt. Daraus wurde letztlich in den vergangenen 3 Jahren ein sehr umfangreiches Anwendungsprogramm.

Das Programm hat ein Sicherheitssystem, das gewährleistet, dass der Bediener je nach seinem Kenntnisstand einen eingeschränkten Zugang zu den Möglichkeiten der Software hat. Hier seien nur die sensiblen notwendigen Parameter, die ein korrektes Funktionieren des Systems Gravimeter-Software gewährleisten, genannt. Ferner ist ein Kunden-Projekt-Verwaltungssystem integriert, in dem die Mitarbeiter, die zum Einsatz kommenden Gravimeter, die Projekte und Karten hinterlegt werden können. Wie bereits angedeutet können auch mehrere ZLS-Burris-Gravimeter verwaltet werden.

Eine umfangreiche Messpunktverwaltung ist integriert, deren Umfang bis hin zum Foto der Messstation reicht. Die Wartung des Gravimeter-Systems ist deutlich verbessert und kann idealerweise nach Anweisungen auf dem Bildschirm erfolgen. Die Motorsteuerung kann durch eine Anzeige auf dem Bildschirm besser überwacht werden. Der Messalgorithmus kann dem jeweiligen Gravimeter eigens angepasst werden.

### **Schwerefeld und Schweremessung S3-1.004**

#### *Resultate mikrogravimetrischer Messungen und das Driftverhalten des ZLS Burris Gravimeters*

**Kessler-Schulz, K.U.\*, Schulz, H.R.**

Angewandte Gravimetrie Dr. Schulz, Rosengarten, Deutschland

Zunächst wird das ZLS-Burris Gravimeter B25 in groben Zügen vorgestellt. Es folgen geophysikalische Ergebnisse zu mikrogravimetrischen Messungen. Dabei werden die Besonderheiten des jeweiligen Projektes aufgezeigt. Eine Erläuterung der Ergebnisse und gegebenenfalls die Erkenntnisse weiterer direkter Aufschlussuntersuchungen (Bohrung, Sondierung oder Schurf) werden im Zusammenhang mit den gravimetrischen Ergebnissen dargestellt. Insbesondere Ergebnisse, die so nicht erwartet wurden, werden hervorgehoben. In den oben genannten Anwendungsfällen handelt es sich um geophysikalische Untersuchungen in Karstgebieten oder um Fragen des Altbergbaus. Um solche genauen Untersuchungen durchführen zu können muss das Driftverhalten eines Metallfeder-Gravimeters gut dokumentiert werden. Dieses Driftverhalten von B25 wurde bereits im Watt-Balance-Labor des BIPM während unserer Messkampagne beobachtet und veröffentlicht. Das Driftverhalten konnten wir bei geodätischen Messungen zur Geoidbestimmung im Gelände über einen längeren Zeitraum von einigen Monaten dokumentieren. Dabei werden Beispiele normaler Produktionsmessungen, Doppelschleifenmessungen zur temporären Verdichtung des Messnetzes und das Verhalten bei Qualitätskontrollmessungen erläutert.

## **Schwerefeld und Schweremessung S3-2.001**

### *Numerische Untersuchungen zur Realisierung eines einheitlichen globalen Höhendatums*

**Grombein, T.\*, Seitz, K., Heck, B.**

Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

In Anbetracht der aktuellen Situation in vertikalen Referenzsystemen muss grundsätzlich zwischen geometrisch und physikalisch definierten Höhensystemen unterschieden werden. Geometrische Höhen, die sich auf ein Referenzellipsoid beziehen, können mit GNSS-Verfahren (Global Navigation Satellite System) absolut und hochgenau gemessen werden. Hieraus abgeleitete dreidimensionale terrestrische Referenzsysteme erreichen Genauigkeiten im Subzentimeterbereich.

Im Gegensatz hierzu basieren die meisten nationalen, physikalisch definierten Höhensysteme auf der relativen Höhenbestimmung mittels geometrischen Nivellements ggf. in Verbindung mit Schweremessungen. Physikalischen Höhensystemen liegt i.d.R. ein individuelles vertikales Datum zu Grunde, welches durch den lokalen mittleren Meeresspiegel an einem Pegelbezugspunkt realisiert wird. Bedingt durch die Meeresflächentopographie liegen diese Bezugspunkte nicht auf derselben Äquipotentialfläche, wodurch sich die Bezugsflächen physikalischer Höhensysteme global gesehen um 1-2 m unterscheiden. Vor dem Hintergrund der Überwachung des "Systems Erde" und der Realisierung eines globalen geodätischen Beobachtungssystems (Global Geodetic Observing System, GGOS) ist ein einheitliches globales Höhensystem allerdings zwingend notwendig.

In diesem Beitrag werden zwei Verfahren unterschiedlicher Genauigkeit zur Lösung der globalen Höhendatumsproblematik vorgestellt. Im ersten Verfahren werden Geopotentialmodelle (GPM) aus aktuellen Satellitenmissionen, die ein globales einheitliches Bezugsniveau realisieren, zur Verknüpfung von Höhensystemen verwendet. Um die eingeschränkte spektrale Auflösung der GPMs zu erweitern, werden die hochfrequenten Signalanteile des Schwerfeldes hierbei aus einem digitalen Geländemodell mittels Residual Terrain Modelling abgeleitet. Dieses satellitenbasierte Verfahren eignet sich vor allem für Entwicklungs- und Schwellenländer mit eingeschränkter geodätischer Infrastruktur und erreicht Genauigkeiten im Bereich von cm-dm. Um eine hochgenaue Lösung zu erhalten, werden im zweiten Verfahren zusätzlich terrestrische Schweremessungen verwendet, die auf ein um Datumparameter erweitertes geodätisches Randwertproblem (GRWP) führen. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen, bei denen meist das skalar freie GRWP formuliert wurde, wird bei der vorgestellten Methode auf das fixe GRWP zurückgegriffen. Neben den theoretischen Grundlagen werden für beide Verfahren Ergebnisse aus numerischen Untersuchungen präsentiert.

## **Schwerefeld und Schweremessung S3-2.002**

### *Gedanken zum Randeffect bei Potenzialfeldmodellen*

**Schmidt, S.\*, Götze, H.-J.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Sowohl bei gravimetrischen als auch bei magnetischen Modellen sind häufig die sogenannten Randeffecte (*edge effects*) störend, die dadurch hervorgerufen werden, dass nur ein begrenzter Ausschnitt der realen Welt im Modell repräsentiert wird. Für die Strukturen außerhalb des modellierten Bereichs sind in der Regel nicht genügend Informationen bekannt, jedoch müssen auch hier Annahmen über Parameter und Strukturen getroffen werden, um keine artifiziellen Anomalien durch unrealistische Übergänge in den nicht modellierten Bereich zu erzeugen.

Zu dem am häufigsten verwendeten Verfahren zur Vermeidung von Randeffecten gehört die (mehr oder weniger) konstante laterale Fortsetzung der Modellstrukturen über eine größere Distanz. Angewendet werden aber auch eine Spiegelung der modellierten Strukturen, oder auch eine relative Modellierung, die die Randeffecte alleine durch Minimierung der Modellparameter klein hält. Bei Voxelmodellen lässt sich der Randeffect leicht durch Subtraktion eines gemittelten Parameters in jeder Tiefenschicht minimieren.

Jede der genannten Methoden erzeugt unterschiedliche Ergebnisse, die dargestellt, verglichen und diskutiert werden. Ein spezieller Aspekt dieser Diskussion ergibt sich bei sphärischen Modellierungen, die eine neue Sicht auf die genannte Problematik erfordern.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-2.003

### *3-D density modeling of the EGM2008 gravity field over the Mt. Paekdu volcanic area*

**Choi, S.\*, Götze, H.-J.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland

Here we use the global gravity field dataset EGM2008 for 3-D crustal density modeling of the Mt. Paekdu stratovolcano and surrounding area located on the border between North Korea and China. Curvature analysis and Euler deconvolution are used to assist interpretation, and the 3D model is constrained by multiple geological and geophysical data sets. Mt. Paekdu is characterized by a low Bouguer anomaly of  $-110 \pm 10$  m/s<sup>2</sup>, which is caused by the combined gravity effects of (1) a depth to the Moho of about 40 km, (2) a zone with lower P-wave velocity and density than the surrounding, (3) low density volcanic rocks on the surface, and (4) the presence of a magma chamber that has not previously been identified. The modeled magma chamber has a mean thickness of 5 km and a density of about 2350 kg/m<sup>3</sup>, and is located <10 km from the surface. Magma chambers are also modeled beneath Mt. Wangtian and Mt. Nampotae. However, the results of the 3-D density modeling do not confirm the existence of a previously proposed mid-crustal low velocity zone in the area 70 km to the north of Mt. Paekdu. Since the Pliocene, volcanic activity in the Mt. Paekdu region has migrated from the east coast of North Korea to the northwest, following the path of NW-SE-trending faults.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-2.004

### *Untersuchung der zeitlichen Variation des Gravimeterfaktors der Wellengruppe K1 mit Hilfe synthetischer Daten*

**Schroth, E.\*<sup>1</sup>, Forbriger, T.<sup>2, 3</sup>, Westerhaus, M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>Black Forest Observatory (BFO), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Schiltach, Deutschland, <sup>3</sup>Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Bei der Untersuchung des zeitlichen Verhaltens von Gezeitenparametern werden häufig Variationen beobachtet, deren Ursachen bisher nicht erklärt werden konnten. Unsere Tests mit Hilfe synthetischer Daten zeigen, dass z.B. die Variationen des Gravimeterfaktors der Wellengruppe K1 durch eine unzutreffende Beschreibung der frequenzabhängigen Tiden im Bereich des Nearly Diurnal Free Wobble (NDFW) durch das der Gezeitenanalyse mit Eterna 3.4 zu Grunde liegende Modell verursacht werden. Bei den verwendeten Messdaten handelt es sich um einen ca. zweijährigen Datensatz der Jahre 2010 und 2011 des supraleitenden Gravimeters SG-056 am Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsobservatorium des Karlsruher Instituts für Technologie und der Universität Stuttgart (BFO). Das zeitliche Verhalten von Gravimeterfaktoren kann mit gleitenden Analysen untersucht werden, bei denen jeweils Gezeitenanalysen für kurze Zeitfenster innerhalb des gesamten Datensatzes durchgeführt und die Ergebnisse über die Zeit aufgetragen werden.

Im Fall des Gravimeterfaktors der Wellengruppe K1 zeigen sich zeitliche Variationen in einer Größenordnung von  $10^{-3}$ . Gegenüber der Standardabweichung, die im gesamten Zeitraum bei einer Größenordnung von  $10^{-5}$  liegt, sind diese Variationen signifikant. Die Variationen kommen dadurch zu Stande, dass das Modell im Bereich des NDFW nicht den Messdaten entspricht und daher nicht in der Lage ist die Messdaten zu erklären. Um dies zu überprüfen werden synthetische Daten verwendet, die im Gegensatz zu gemessenen Daten, keine tatsächlichen Variationen der Amplituden der Einzeltiden enthalten können. Sie werden mit dem Programmteil Predict von Eterna berechnet, wobei zur Berechnung die aus den Messdaten (zweijähriger Datensatz) bestimmten Gravimeterfaktoren verwendet werden. Insbesondere im Fall von K1 wird eine feine Wellengruppeneinteilung gewählt, um den Messdaten möglichst ähnliche synthetische Daten zu erhalten, die nur wenig von den Annahmen des Erdmodells im Eterna-Programm beeinflusst sind.

Führt man unter den selben Bedingungen wie im Fall der Messdaten eine gleitende Analyse durch, beobachtet man beim Gravimeterfaktor von K1 eine Variation, die der aus den Messdaten bestimmten sehr ähnelt und nie mehr als  $5,1 \cdot 10^{-4}$  davon abweicht. Die Variation ist also ein Artefakt der Analyse. Zeitliche Variationen in den Gravimeterfaktoren anderer Wellengruppen, wie z.B. M2, lassen sich bisher dagegen nicht auf diese Weise erklären und könnten daher eine andere Ursache haben.



## Schwerefeld und Schweremessung S3-3.001

### *Adaptive topographic mass correction for satellite gravity and gravity gradient data*

**Holzrichter, N.<sup>\*</sup>, Szwillus, W., Götze, H.-J.**

Institut für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik, CAU Kiel, Kiel, Deutschland

Subsurface modelling with gravity data includes a reliable topographic mass correction. Since decades, this mandatory step is a standard procedure. However, originally methods were developed for local terrestrial surveys. Therefore, these methods often include defaults like a limited correction area of 167 km around an observation point, resampling topography depending on the distance to the station or disregard the curvature of the earth.

New satellite gravity data (e.g. GOCE) can be used for large scale lithospheric modelling with gravity data. The investigation areas can include thousands of kilometres. In addition, measurements are located in the flight height of the satellite (e.g. ~250 km for GOCE). The standard definition of the correction area and the specific grid spacing around an observation point was not developed for stations located in these heights and areas of these dimensions. This asks for a revaluation of the defaults used for topographic correction. We developed an algorithm which resamples the topography based on an adaptive approach. Instead of resampling topography depending on the distance to the station, the grids will be resampled depending on its influence at the station. Therefore, the only value the user has to define is the desired accuracy of the topographic correction. It is not necessary to define the grid spacing and a limited correction area. Furthermore, the algorithm calculates the topographic mass response with a spherical shaped polyhedral body.

We show examples for local and global gravity datasets and compare the results of the topographic mass correction to existing approaches. We provide suggestions how satellite gravity data should be corrected.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-3.002

### *Lithospheric structure of the Arabian peninsula from modeling of satellite gravity gradients*

**Ebbing, J.<sup>\*</sup>, Bouman, J.<sup>2</sup>, Fattah, R.A.<sup>3</sup>, Haagmans, R.<sup>4</sup>, Holzrichter, N.<sup>5</sup>, Lieb, V.<sup>2</sup>, Meekes, S.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Geological Survey of Norway, Trondheim, Norwegen, <sup>2</sup>DGFI, München, Deutschland, <sup>3</sup>TNO, Utrecht, Niederlande, <sup>4</sup>ESA-ESTEC, Noordwijk, Niederlande, <sup>5</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland

We show an example how to use satellite gravity gradients from the GOCE satellite mission to improve modeling of the Earth's lithosphere and thereby contribute to a better understanding of the Earth's dynamic processes. Gravity gradient data are generally sensitive to shallower structures than the gravity field itself and provide information about the variations in the gravity field in both the horizontal and vertical plane. We first validate the use of satellite data in different orbit heights and show that the gradients in different heights have a significantly different sensitivity, which can be exploited to construct the most reasonable lithospheric setting.

For the Arabian Peninsula, existing information about the crustal structure is very sparse. Conventional crustal thickness models are based on inversion of near-surface gravity data constrained by few seismic data points. These models do however not fit with the gravity field observed by the GOCE satellite mission. To overcome this misfit, we optimize the model for isostasy, gravity and satellite gradients. Inversion of crustal thickness using satellite gravity gradients shows that a satisfying fit to the observed data can only be given by introducing lateral variations in crustal composition. This shows the potential of the non-vertical gravity components to establish more realistic crustal structures. The model is further tested against near-surface gravity data and tested for its isostatic state.

From the latter, we estimate the base lithosphere, which is defined as the 1315°C isotherm. Hence, the lithospheric model can be used to estimate the regional heat-flow component. This is more realistically done using GOCE data than by just using conventional gravity data sets.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-3.003

### *A Comparison of Continental and Marine rifts based on gravity anomalies*

**Jacoby, W.\*<sup>1</sup>, Cavsak, H.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, Mainz, Deutschland, <sup>2</sup>Earth Sciences, Technical University, Trabzon, Türkei

An attempt is made to compare continental and marine rifting with emphasis on Iceland. Gravity anomalies, though not unambiguously invertible, combined with a priori information on crust, underlying mantle, history, plate-tectonic frame etc., permit a better insight into the rifting processes and their variations. Continental rifts show more distinct rim and core Bouguer anomalies and weaker positive Free Air anomalies than marine axial rifts show, but the Free Air anomalies in and around Iceland are higher, related to the surface elevation. Inversion of density for the temperature field below spreading ridges renders a plausible thermal expansivity which is model-dependent and suggests axial melt accumulation, especially for the Atlantic. In Iceland, the active volcanic zones and extinct rifts show strongly variable anomalies, related to the magma supply from below.

The Rhine Graben and the East African Rifts have a gravity signal dominated by the low-density graben fill, missing in ocean rifts and in Iceland. The regional Free Air anomaly is dominantly positive. The age dependence is investigated but uncertain and scattered. Small rifts give variable signals reflecting local geological structures. Bayesian inversion is applied to most of the data and regions. Its success is highly dependent on the a priori information, which is not surprising.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-3.004

### *Gravimetriestudie im Projekt Geopower - Beispiel für eine integrierte Interpretation*

**Götze, H.-J.\*<sup>1</sup>, Schmidt, S.<sup>1</sup>, Finger, N.-P.<sup>1</sup>, Kirsch, R.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften (Abt. Geophysik), Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland,

<sup>2</sup>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), Flintbek, Deutschland

Der Raum Flensburg ist für eine geothermische Nutzung des Untergrundes von großem Interesse. Der Aufbau des Untergrundes ist aber sehr kompliziert, da die Nutzhorizonte mit porösem oder zerklüftetem Sandstein durch eine intensive Salztektunik stark gestört sind. Im deutsch-dänischen Gemeinschaftsprojekt GEOPower des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume (LLUR, S-H) sollen mögliche Nutzhorizonte erfasst werden, unter anderem durch Kartierungen von Störungen (z.B. Flensburg-Sieverstedter Störung). Ein weiteres Ziel ist die dreidimensionale Modellierung von Salzstrukturen. Gefördert werden die Arbeiten im Rahmen des EU Projektes INTERREG 4A.

Gravimetrische und geodätische Feldarbeiten sind für dieses Projekt im Feldpraktikum 'Geophysikalische Messgeräte' (in den Bachelor-Studiengängen 'Geowissenschaften' und 'Physik des Erdsystems') an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel durchgeführt worden: vom 24. September 2012 - 4. Oktober 2012 und vom 09. September - 20. September 2013. Ziel der Praktika war es, möglichst realistische Bedingungen für geophysikalische Feldmessungen anzubieten. Die Veranstaltungen bestehen aus drei Teilen: Feldarbeiten, Datenverarbeitung und Modellierung, sowie einer Präsentation (Vortrag, Publikation) der Ergebnisse.

Gemessen wurde mit LaCoste & Romberg Gravimetern, Protonen Magnetometern, Differential GPS-Geräten und Nivellieren. Die Fehler in den Endbearbeitungen der Potentialfelder sind akzeptabel gering und erlauben ohne Einschränkungen eine weitergehende Analyse. Als 'Randwerte' für die Modellierung stehen ein Industrie-seismik-Profil zur Verfügung und eigene Seismik-Messungen der Arbeitsgruppe 'Angewandte Geophysik' und des LIAG, Hannover. Bouguer- und Restfelder der Gravimetrie und Magnetik zeigen signifikante Anomalien in den beiden Zielgebieten: insbesondere im Bereich der Sieversdorfer Störung. Erschwerend beim Datenprozessing der Schwere ist allerdings ein extrem starkes Regionalfeld im Zielgebiet, das vermutlich durch Massen in der Mittel- und/oder Unterkruste hervorgerufen wird und nicht von den interessierenden oberflächennahen Salzstrukturen. Zur Regionalfeld-Berechnung werden ca. 4000 Schweredaten des Landesvermessungsamts S-H verwendet. Die Modellvorstellungen der gravimetrischen Bearbeitung werden mit den Befunden der reflexionsseismischen Messungen abgeglichen und interpretiert.

## S3 Schwerefeld und Schweremessung Poster

### Schwerefeld und Schweremessung S3-P.001

*Systematische Analyse des lithostatisch induzierten Stressfeldes auf der subduzierten Nazca-Platte*

**Gutknecht, B.D.\***

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland

Mit Hilfe von Schweredaten vorwärtsmodellerte Dichtemodelle können zur Berechnung der lithostatischen Auflast auf Grenzflächen im Untergrund verwendet werden. Unter Berücksichtigung von Geometrie und einem Hintergrundmodell aus Voxelzellen wurden für die subduzierte Nazcaplatte im Bereich der Zentral-Anden zwischen 16°S und 28°S Anomalien des lithostatisch induzierten Stressfeldes hergeleitet. Dieser Beitrag zeigt eine systematische Analyse der normal zum Interface bezogenen Stressanomalien in Verbindung mit der vorherrschenden Seismizität ( $M > 5$ ) entlang des Peru-Chile-Trenches. Eine multimodale Histogrammverteilung der Anomalien verdeutlicht die Segmentierung des Kontinentalrandes. Positive Stressanomalien von zum Teil mehr als 50 MPa fallen deutlich mit dem Bereich der seismogenen Zone bis ~42 km Tiefe zusammen. Die Betrachtung der Mohrschen Spannungsverhältnisse legt nahe, dass die Dichteverteilung der aufliegenden Kontinentalmassen über den Zeitraum der seismischen Zyklen einen signifikanten Einfluss auf die Bildung von Asperities an der abtauchenden Nazcaplatte ausüben kann.

### Schwerefeld und Schweremessung S3-P.002

*A new gravity-inferred 3D density model of the Southern Central Andes*

**Schaller, T.\*, Götze, H.-J., Sobiesiak, M.**

Institut für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik, CAU Kiel, Kiel, Deutschland

The entire western coast of South America is influenced by subduction related processes of the oceanic Nazca plate underneath the South American continent. This subduction leads to high stresses in the lithosphere, which are accommodated by recurrent large earthquakes.

In the northernmost area of Chile exists a large seismic gap, which is at the moment supposed to be one of the last ones in Chile with the capability to produce an earthquake larger than M8. Structural heterogeneities within the subduction zone could play a key role in generating large rupture processes and display those areas where high energy release can be expected. Gravity-inferred density models can help to resolve the structure and nature of these heterogeneities within the overriding and downgoing plate.

Therefore, we developed a density model of the southern Central Andes between 74° and 64° W and 19°-24° S using the forward modelling software IGMAS+. The model comprises crust and upper mantle of the downgoing Nazca plate, as well as continental crust and mantle down to a depth of 220 km; the modelling results from fitting the Bouguer anomaly of this region. To a first degree the oceanic and continental Moho interfaces are constraint by a single Vening-Meinesz isostatic model. The crustal bodies and the downgoing slab are constraint by earthquake hypocentres. As part of the interpretation process we compared our results to seismological tomography and found that the structure of the Coastal Cordillera batholiths agrees extremely well with known asperities and seismic gaps.

Furthermore our study focuses on the area of the Salar de Atacama basin, a topographic depression. Here the Bouguer anomaly displays a high, which is part of the Central Andean gravity high. Tomographic studies identified a rheologically stronger block underneath the basin. As part of the modelling process three model alternatives were tested while fitting the Bouguer anomaly.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-P.003

### *Deciphering the crust and upper mantle structure of Fennoscandia*

**Gradmann, S.<sup>1</sup>, Ebbing, J.\*<sup>1</sup>, England, R.<sup>2</sup>, Maupin, V.<sup>3</sup>, Smirnov, M.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Geological Survey of Norway, Trondheim, Norwegen, <sup>2</sup>University of Leicester, Leicester, UK, <sup>3</sup>University of Oslo, Oslo, Norwegen, <sup>4</sup>University of Oulu, Oulu, Finnland

Results of the TopoScandiaDeep project for SW Fennoscandia have shown that the deep lithosphere reflects the large-scale tectonic processes but additionally influences the present-day setting of crustal structure and topography. This is particularly apparent where domains of different tectonothermal age adjoin; a change in velocities and densities of the sub-continental lithospheric mantle (SCLM) is observed, which likewise affects the topography. The physical properties of the SCLM are primarily determined by its age and tectonothermal history, and these correlate with the overlying crustal structure and its properties, e.g. a high-density lower crustal layer in Fennoscandia.

In recent years a number of geophysical data sets have been and are currently being acquired; these include a regional seismic array (SCANARRAY), receiver function studies (SCANLIPS), and magnetotelluric surveys (MASCA-DMT). These new data and integrated forward and inverse modelling make it possible to decipher in detail the role of crustal and upper mantle properties in the tectonic evolution of the Fennoscandian shield. The crustal and upper mantle structure in SW Fennoscandia is now fairly well studied with multiple active and passive seismic surveys, gravity and isostatic modelling, and satellite gravity gradients. The latter data set has a high sensitivity to the uppermost mantle, which makes it complementary to the other geophysical observables. In comparison, the northern part of Fennoscandia has long remained underexplored. Here, domains of Archean and Proterozoic cratons are adjoined and subsequently affected by the Paleozoic Caledonian orogeny and rifting of the North Atlantic. The Precambrian processes created lateral variations in the lithospheric structure, which in turn may have influenced the subsequent tectonic processes acting in the region. These processes and their expression in the lithospheric architecture can now be studied using the new acquired data sets.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-P.004

### *Petrologisch-geophysikalische Modellierung der Transeuropäischen Suturezone im Gebiet des TOR-Profiles*

**Pappa, F.\*, Rabbel, W., Ebbing, J.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Diese Arbeit untersucht die Auswirkungen von Mächtigkeit und petrochemischer Zusammensetzung des lithosphärischen Mantels an der Transeuropäischen Suturezone (TESZ), speziell der Sorgenfrei-Tornquist-Zone, auf seismische Geschwindigkeiten, Topographie und Schwerfeld. Bei dem Projekt "Teleseismic Tomography TORnquist" (TOR) konnten P-Wellen-Geschwindigkeitsanomalien beobachtet werden, die auf einen abrupten stufenförmigen Verlauf der Lithosphären-Asthenosphären-Grenze (LAB) zwischen Südschweden und Norddeutschland hindeuten. Demnach liegt die LAB unterhalb des (früh-proterozoischen, 2-1,8Ga) baltischen Schields deutlich tiefer (bis >300km) als unter den phanerozoischen Terranen Mitteleuropas (bis <100km). Jedoch spiegelt sich der vermutete Tiefenverlauf der LAB nicht in der Topographie und dem Schwerfeld wider.

Zur Untersuchung dieser Umstände wurde die Software LitMod3D benutzt, die eine kombinierte geophysikalisch-petrologische Vorwärtsmodellierung der Lithosphäre und des sublithosphärischen Mantels ermöglicht. Zunächst wurden Sensitivitätstests mit einfachen, synthetischen Modellen durchgeführt. Zusätzlich wurde mit einem 1D-Säulenmodell die Auflösungsqualität verschiedener Parameter analysiert. Die stabilsten für die Variation des Modells sind: Krustendichte, Mg/Fe-Verhältnis (FO-Index) im SCLM und Wärmeleitfähigkeit der Kruste.

Die Auswirkung der petrochemischen Mantelkomposition auf die seismischen Geschwindigkeiten wurde ebenfalls modelliert. Dabei ergab sich schon in sehr vereinfachten Modellen mit abgestufter MOHO und LAB ein prinzipiell mit den TOR-Messdaten übereinstimmendes Bild. Diese Ergebnisse deuten auf einen Übergang von proterozoischer zu phaneroischer Komposition an der TESZ hin.

Abschließend wurden zwei unterschiedliche Modelle für das TOR-Messgebiet erstellt und an

topographische, gravimetrische und seismologische Datensätze angepasst. Im ersten Modell ist, angelehnt an Modellierungen für Irland von Jones et al. (2013), der mitteleuropäische SCLM oberhalb von 60km Tiefe als refertilisiert angenommen. Dies hat zwar eine insgesamt flachere LAB (~130km) zur Folge, erklärt aber die beobachteten P-Wellenanomalien nicht befriedigend. Das zweite Modell, in dem die Wärmeleitfähigkeit der mitteleuropäischen Kruste und ihrer Sedimente erhöht und damit die Isothermen im SCLM angehoben wurden, spiegelt die beobachteten P-Wellenanomalien sehr gut wider. Die LAB-Tiefe liegt hier im SW der TESZ bei etwa 100km, im NE bei 200 bis 360km.

## **Schwerefeld und Schweremessung S3-P.005**

### *Salzstock Geesthacht und Umgebung*

**Altenbrunn, K.\*, Götze, H.-J., Schmidt, S.**

Institut für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik, CAU Kiel, Kiel, Deutschland

Bei der Suche nach möglichen Speichersystemen für regenerative Energien wird der Nutzung des geologischen Untergrundes zur Energiespeicherung eine wesentliche Bedeutung beigemessen. Der Aufbau und die Verifizierung von geophysikalischen Modellen ist dabei ein wesentlicher Faktor, um mögliche Speicherstrukturen zu bestimmen. Dieses Projekt umfasst den Aufbau eines gravimetrischen 3D Modells sowie die Analyse des Einflusses einzelner Modellkörper auf das Modell. Im Zentrum der Untersuchungen stand dabei der Salzstock Geesthacht und seine Umgebung, eine Region im Süden von Schleswig-Holstein. Für die Erstellung des 3D Dichtemodells wurde ein geologisches 3D Geometriemodell (Gocad) vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein zur Verfügung gestellt. Die gravimetrischen Messdaten stellten das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover sowie der Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V. bereit. Die Modellierung des 3D Dichtemodells wurde mit dem Programm IGMAS+ (Interactive Geophysical Modelling Application System) durchgenommen. Das Modell besteht aus 13 geologischen Schichten und erreicht eine Tiefe von ca. 5500 Meter. Neben der geologischen Schichtabfolge wurde der Salzstock Geesthacht sowie die umgebenden Salzstrukturen modelliert.

Darüber hinaus wurden die Auswirkungen von einzelnen Salzstöcken im Modell untersucht. Dies sollte klären inwieweit auch relativ kleine Salzgebilde einen Einfluss auf die Schwere ausüben, da keine sichtbaren Anomalien in den Schweremessungen auftreten. Es konnte ein bedeutender Einfluss festgestellt werden, wobei allerdings auch die Geologie beachtet werden muss. Des Weiteren werden die Ergebnisse der Stressberechnung im Modellgebiet vorgestellt.

## **Schwerefeld und Schweremessung S3-P.006**

### *Aerogravimetrische Vermessung mit dem BGR Hubschrauber im Landkreis Verden*

**Heyde, I.\***

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Im Juni 2013 führte die BGR in einem 30 x 30 Kilometer großem Gebiet im Landkreis Verden Messflüge mit ihrem Sikorsky S-76B Hubschrauber durch. Eingesetzt wurde dabei das Aerogravimetriesystem, das im wesentlichen auf dem modifizierten KSS32M Gravimeter der Firma BGGS in Meersburg basiert. Die Flüge erfolgten vom Flugplatz Ganderkesee. Während der 8 Flüge wurden 21 SW-NE mit einem Profilabstand von 1,5 km und 6 Querprofile mit 6 km Abstand geflogen. Um sicherzugehen im eigentlichen Untersuchungsgebiet verwertbare Daten zu bekommen, betrug die Länge der Profile jeweils 50 km. Die Messflughöhe lag in der Regel bei 230 m über NN, um einen Mindestabstand von 500 Fuß über Grund einzuhalten. Die Fluggeschwindigkeit betrug windabhängig 90 bis 110 km/h über Grund. Zur Bestimmung der Freiluftschwereanomalien müssen etliche Reduktionen und Korrekturen bestimmt werden. Für diese sind hochgenaue Positionen und Geschwindigkeiten notwendig. Die kinematischen GPS Daten wurden von 3 NovAtel OEM4 Empfängern registriert und mit einer INS Einheit gekoppelt. Eine eigene GPS Basisstation wurde am Flugplatz Ganderkesee betrieben, weitere Daten der SAPOS Stationen Verden, Rotenburg und Nienburg wurden vom LGLN Niedersachsen beschafft und in die Prozessierung einbezogen. Die Daten entlang einzelner Profile und die Karte der Freiluftschwereanomalien werden vorgestellt und diskutiert.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-P.007

### *Charakterisierung von Subrosionsprozessen mittels Schwerenetzwerk an der Kyffhäuser Südrandstörung in Bad Frankenhausen*

**Jahn, G.\***, **Gabriel, G.**, **Krawczyk, C.M.**, **Vogel, D.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), S1, Hannover, Deutschland

Die Erkundung von rezenten Erdfallstrukturen mit begleitender Prozessevaluierung ist in urbanen Gebieten nicht nur aufgrund der komplexen Subrosionsdynamik und des hohen Georisikos von großem Interesse, sondern stellt auch spezielle Anforderungen an die Planung und Durchführung der geophysikalischen Untersuchungen.

Dieses Forschungsprojekt widmet sich der Charakterisierung von Subrosionsprozessen im Gebiet des Zechsteinausstrichs Bad Frankenhausens (Kyffhäuser - Südrand). Mit Hilfe engräumiger und zeitabhängiger gravimetrischer Messungen verfolgt das Monitoring Programm das primäre Ziel, in Zukunft kleinräumige innerstädtische Gefährdungszonen in unseren Klimazonen besser lokalisieren, untersuchen und beurteilen zu können. Erste gravimetrische Sondierungsmessungen wurden hierzu 2014 durchgeführt. Ziel dieser Messungen war die strukturelle Vorerkundung des Erdfallgebietes, die mit der strategischen Planung zum Aufbau eines ab 2014 zu betreibenden lokalen Schwerenetzwerkes gekoppelt sind. Mit Hilfe der Messergebnisse konnte ein vorläufiges Schwerfeldmodell abgeleitet werden, das den möglichen Verlauf der postulierten Störungszone erkennen lässt. Für die Umsetzung der geplanten, hochpräzisen gravimetrischen Wiederholungsmessungen sind 15 Messpunkte im und um den innerstädtischen Senkungsbereich definiert worden. Durch die Kombination von Wiederholungsmessungen und Langzeitregistrierungen sollen verschiedene Quellen für Schwereänderungen identifiziert und separiert werden, um in einigen Jahren zeitliche Schwereänderungen infolge der fortlaufenden Subrosionsprozesse interpretieren zu können. Insbesondere müssen dabei hydrogeologische Einflüsse erkannt werden. Hierfür werden saisonale Effekte als auch Schwereänderungen nach starken Niederschlagsereignissen und Perioden der Trockenheit mit mindestens 4 Relativgravimetern über einen Beobachtungszeitraum von mindestens 2 Jahren erfasst. Geplant ist, dass diese Messungen durch hydrogeologische Beobachtungen, ein Präzisionsnivellement und temporär durchzuführende flächenhafte geophysikalische Messverfahren, die indirekte hydrogeologische Informationen liefern, begleitet werden. Mit der Weiterentwicklung geeigneter Analysetools zur Bearbeitung und Auswertung zeitabhängiger gravimetrischer Messreihen wird im zweiten Schritt die Steigerung der Güte des Schweresignals angestrebt. Darüber hinaus wird die durch Grundwässer induzierte zeitliche Schwerfeldvariation mit Hilfe eines 3D-Modells simuliert.

## Schwerefeld und Schweremessung S3-P.008

### *Coherency Analysis between SGs at BFO and Strasbourg*

**Zhang, Y.<sup>1</sup>**, **Widmer-Schmidrig, R.\*<sup>2</sup>**, **Sneeuw, N.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geodätisches Institut, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland, <sup>2</sup>BFO, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

The twin satellite GRACE mission provides high-precision, spaceborne measurements of the Earth's time-varying gravity field. Independent validation of the GRACE derived gravity field models using superconducting gravimeters (SGs) would be highly desirable but has been discussed controversially in the literature. While SGs provide gravity observations at a stationary point with high-precision and low instrumental drift, SG based gravity observations also come with a drawback: instruments on the surface of the Earth are sensitive to small mass movements in their immediate vicinity, most notably hydrological processes. We compare 3 years of continuous SG data from the Strasbourg Observatory (ST) and the Black Forest Observatory (BFO). These two stations are only 57.5km apart, which is the smallest inter station distance among all SGs in the global GGP network of superconducting gravimeters.

This distance is also twelve times smaller than the shortest resolved wavelength (about 700 km) in the weekly GRACE gravity field models. Thus, since GRACE derived models predict essentially the same temporal gravity field variations for both ST and BFO we require high correlation between ST and BFO at periods longer than one week. The amplitude of the gravity residuals in the subtidal band are similar at Strasbourg and at BFO. Thus the installation in the old silver mine of BFO, 150m below the surface, did not produce any notable advantage in this respect.

The gravity residuals of the two stations are correlated, suggesting that both instruments see a common, regional phenomenon. For periods between 15 and 30 days the coherence between the residuals of the two stations ranges from 0.65 to 0.9.

Predicted gravity variations based on hydrological models can only partly explain the observed gravity residuals. Corrections based on such hydrological models do not lead to a variance reduction. One of the more obvious reasons being that the spatial sampling of these models is simply too coarse to capture the water storage on a more local scale. The gravity predictions of the GRACE-derived global gravity models are overpredicting the SG gravity residues. The correlation is not high. Nonetheless it seems quite clear that the two SGs and GRACE see the same phenomenon.

## **Schwerefeld und Schweremessung S3-P.009**

### *Kleinräumige Gravimeternetzwerke zur Umweltbeobachtung und Gefahrenüberwachung*

**Mollenhauer, H.\*, Bumberger, J., Dietrich, P.**

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Monitoring und Erkundungstechnologien (MET), Leipzig, Deutschland

Massenbewegungen im Untergrund stellen große Risiken sowohl für den lokalen und regionalen Lebensraum, als auch für globale Kreisläufe (Klima etc.) dar. Anfängen von Haldenrutschungen in Tagebauen in der Lausitz oder Hohlraumverlagerungen und -einstürzen in Altbergbauen oder Karstregionen bis hin zu Vulkanausbrüchen oder Tsunamis gehen solchen Ereignissen immer Massetransporte voraus. Da oft keine oder nur äußerst kostspielige Präventionen solcher Gefahrenquellen möglich sind, muss ihr Gefahrenpotential abgeschätzt und entsprechende Frühwarnsysteme eingerichtet und verbessert werden. Sowohl die Gefahrenabschätzung als auch die Beobachtung solcher Massentransporte ist mit Hilfe der Gravimetrie realisierbar, ein Messverfahren, welches Rückschlüsse auf das vorherrschende Schwerfeld am Messpunkt ermöglicht. Neue drahtlose Netzwerk- und Gravimetertechnologien gestatten den effizienten Einsatz von mobilen Gravimeternetzwerken für geophysikalische Umweltbeobachtungen in naher Zukunft. Die Vorteile einer solchen Applikation gegenüber bestehenden System liegen zum einen in der Adaptivität und der Selbstorganisation des Netzwerks, zum anderen in Entwicklung und Design der Gravimeter, welche für Netzwerkanwendungen und die Beobachtung von Umweltprozessen optimiert wurde. Diese Arbeit soll sowohl Potential, Herausforderungen und Limitierungen eines solchen Systems aufzeigen als auch Einblick in die technische Realisierung des Netzwerks und Anwendungsbeispiele geben.

## **Schwerefeld und Schweremessung S3-P.010**

### *Genauigkeitsuntersuchungen moderner Federgravimeter für Monitoringaufgaben in der Geophysik*

**Schilling, M.<sup>1</sup>, Gitlein, O.<sup>1</sup>, Jahn, G.\*<sup>2</sup>, Vogel, D.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Terrestrische Gravimetrie wird für lokale und regionale Schwerfelduntersuchungen eingesetzt, um statische Massenverteilungen aber auch Massenumlagerungen zu untersuchen. Die Kombination aus Absolut- und Relativgravimetern bietet die höchste zeitliche und räumliche Auflösung bei der Bestimmung der Schwere auf dem  $\mu\text{Gal}$ -Niveau und darunter.

Für Aufzeichnungen über längere Zeiträume sind Federgravimeter - z.B. im Vergleich zu Supraleitgravimetern - die flexibelste, technisch einfachste und vergleichsweise wirtschaftlichste Lösung, unterliegen aber dem Nachteil der Drift. Wir untersuchen die Genauigkeiten des Micro-g LaCoste gPhone-98 und ZLS Burris Gravity Meter B-64 des Instituts für Erdmessung. Mit beiden Instrumenten wurden Registrierungen über mehrere Monate auf fünf Stationen mit hohen und niedrigen seismischen Störungen durchgeführt. Untersucht wird zudem eine parallele Registrierung des ZLS mit dem Supraleitgravimeter in Onsala (Schweden). Die Gezeitenanalyse gleichzeitiger Datenreihen beider Instrumente zeigt, dass die Gezeitenparameter der täglichen und halbtäglichen Gezeiten mit 0.4 Promille (O1,K1,M2) bis 1.6 Promille (S2) übereinstimmen.

Das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik besitzt das gPhoneX-129 seit Ende 2012. Anhand einer acht

Monate langen parallelen Registrierung mit dem g-98 werden diese Geräte unterschiedlicher Generationen verglichen. Diese erste Langzeitregistrierung des gX-129 zeigt die Entwicklung der Gerätedrift eines fabrikneuen Gerätes im Vergleich zu einem bereits seit 3 Jahren im Gebrauch befindlichen Gerätes. Insbesondere die Abweichungen von einem linearen Driftverhalten erschweren die Unterscheidung zwischen Signal und Drift. Zusätzlich wird der Einfluss unterschiedlicher Datenerfassungsraten (1 und 7 Hz) untersucht.

Die Qualität der Zeitreihen der drei Gravimeter wird durch eine Gezeitenanalyse bewertet sowie die Langzeitstabilität der Instrumente getestet. Sowohl für das g-98 als auch das B-64 wurde eine Stabilität des linearen Eichfaktors von  $3 \cdot 10^{-4}$  ermittelt. Im Allgemeinen verhält sich die Drift eines gPhones nach einer gewissen Einlaufphase linear. Der Betrag und die Variation der Drift des g-98 nahm im Nutzungszeitraum nach jedem Standortwechsel ab und liegt derzeit bei  $90 \text{ nm/s}^2$  pro Tag. Im Gegensatz dazu zeigt das B-64 deutlich ein nichtlineares Verhalten.

## **Schwerefeld und Schweremessung S3-P.011**

*Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus zur Berechnung der gravimetrischen und magnetischen Anomalie von homogenen Körpern mit beliebiger Oberfläche*

**Bär, M.\*, Börner, R.-U., Käßler, R.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Die Komplexität geologischer Strukturen macht die Anwendung existierender Standardverfahren zur Berechnung der gravimetrischen und magnetischen Anomalie schwierig. Sowohl die Berechnung auf der Grundlage von Störkörperformeln als auch die Modellierung komplexer Körper durch die Kombination von Elementarkörpern beruht häufig auf einer unzulänglichen Approximation an die tatsächliche Form der zu modellierenden Struktur. Wir stellen eine Simulationsmethode vor, welche die wahren Abmessungen des Körpers berücksichtigt. Die vorgestellte Methode berechnet die gravimetrische Schwerewirkung sowie die magnetische Anomalie anhand der triangulierten Oberfläche des Störkörpers. Es wird anhand elementarer Störkörper demonstriert, dass bei Vorgabe einer hinreichend großen Anzahl von Stützstellen auf der Oberfläche des Körpers die resultierende numerische Lösung gegen die erwartete analytische Lösung konvergiert. Die in MATLAB implementierte Simulationsmethode wurde in eine graphische Benutzeroberfläche integriert, welche eine interaktive Berechnung der gravimetrischen oder magnetischen Anomalie ermöglicht.



## Schwerefeld und Schweremessung S3-P.012

### *EVAREST - Evaluierung von Strukturmodellen durch gemeinsame Interpretation von Potenzialfelddaten*

**Skiba, P., Gabriel, G.\*, Krawczyk, C.M.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Geologische Strukturmodelle basieren häufig auf der Integration geophysikalischer Daten, deren Erhebung mit erheblichen Kosten verbunden ist. In den letzten Jahren ist die Bedeutung der Potenzialverfahren wieder verstärkt in den Vordergrund gerückt und damit die Frage nach den Vor- und Nachteilen der einzelnen Methoden. In einer Fallstudie ist im Rahmen einer Kooperation des LIAGs mit RWE Dea für ein Gebiet in Norddeutschland untersucht worden, wie detailliert gravimetrische und magnetische Anomalien in Form eines 3D-Vorwärtsmodells gemeinsam interpretiert werden können. Besondere Bedeutung kam dabei den Restfeldern zu, also den Anteilen der Anomalien, die durch ein gemeinsames strukturphysikalisches Modell nicht abgebildet werden konnten. Diese Informationen wurden in einem weiteren Arbeitsschritt genutzt, um möglichen Quellen gravimetrischer und magnetischer Anomalien besser zu lokalisieren.

Als Datenbasis standen verschieden hoch auflösende gravimetrische und magnetische Datensätze zur Verfügung, die zunächst durch Feldtransformationen analysiert wurden. Während die Gravimetrie erwartungsgemäß die Verteilung der Salzstrukturen im Untersuchungsgebiet betont, werden die magnetischen Anomalien durch die Wirkung tiefer Strukturen - vermutlich des kristallinen Basements - dominiert. Lokale magnetische Anomalien werden teilweise über den Randsenken der Salzstöcke, vor allem aber auch in Verbindung mit quartären Rinnenstrukturen beobachtet.

Die 3D-Vorwärtsrechnungen unter Berücksichtigung vorliegender Strukturinformationen und petrophysikalischer Daten haben u.a. gezeigt, dass eine gemeinsame Modellierung beider Anomaliefelder unter Annahme konstanter Dichte- bzw. Magnetisierungswerte für die lithologischen Einheiten nicht möglich ist, sofern die Geometrien der Störkörper für beide Felder identisch sind. Zur Erklärung der magnetischen Anomalien ist eine genauere Differenzierung der wirkenden Störkörper im Sinne dünner Lagen erhöhter Magnetisierung notwendig, während die gravimetrischen Anomalien nur durch die Einführung vertikaler Dichtekontraste innerhalb spezifischer lithologischer Einheiten hinreichend erklärt werden können. Gleichwohl lassen sich aus den magnetischen Restfeldern Vorstellungen über die maximale Tiefe der magnetischen Störkörper ableiten.

## S4 Geothermie

### Geothermie S4-1.001

#### *Seismische Gefährdung aufgrund induzierter Seismizität bei der tiefen Geothermie*

**Spies, T.\*, Schlittenhardt, J., Kopera, J., Morales, W.**

BGR, Ingenieurseismologische Gefährdungsanalysen, Hannover, Deutschland

Unter tiefer Geothermie wird die Gewinnung von Energie aus Bohrungen von mehr als 400 m Tiefe verstanden. Beim Ausbau und Betrieb solcher Anlagen können Bruchvorgänge unterschiedlichen Maßstabs im tieferen Untergrund bewirkt werden, die mit induzierter Seismizität verbunden sind. Kaltes Fluid wird in das Bohrloch gepresst und erwärmtes Fluid herausgepumpt, so dass das Gebirge Injektionsdrücken und thermischen Beanspruchungen ausgesetzt ist. Dabei werden Risse erzeugt oder erweitert, was als mikroseismische Aktivität instrumentell nachweisbar ist. Die Erhöhung des Porendrucks auf bestehenden Störungsflächen unter tektonischer Beanspruchung kann auch fühlbare Seismizität bewirken. Eine vergleichbare Problematik besteht bei anderen technischen Prozessen, die der Energiegewinnung aus dem tieferen Untergrund dienen und bei denen der Porendruck verändert wird, z.B. hydraulic fracturing zur Erschließung von Schiefergas, Förderung von Erdgas und Erdöl und Verpressung von flüssigen Abfällen oder CO<sub>2</sub>.

Für die Planung und Genehmigung, aber auch für Ausbau und Betrieb der Anlagen müssen die Auswirkungen der induzierten Seismizität in Form von möglichen Intensitäten und Bodenbewegungen angegeben werden können. Dazu können die Methoden zur Erfassung der Erdbebengefährdung im Fall natürlicher Seismizität modifiziert und angewendet werden. Im Einzelprojekt 4 der ersten Phase des MAGS-Projekts "Mikroseismische Aktivität geothermischer Systeme" wurde ein möglichst einfaches Modell entwickelt, um die seismische Gefährdung als Wahrscheinlichkeit für das Auftreten bzw. Überschreiten von Bodenbewegungen bestimmter Größe zu ermitteln. Auf dieser Basis konnten die Vorgehensweisen von Normen und Richtlinien des Bauwesens für die natürliche Seismizität und für Schwingungsphänomene auf die Behandlung der induzierten Seismizität übertragen werden. Im Beitrag liegen die Schwerpunkte bei Auswahl und Test eines Programms zur probabilistischen Gefährdungsberechnung, der Ableitung des seismischen Quellmodells und bei der Ermittlung der Eingabedaten. Für die Berechnung der Gefährdung werden spezielle Bodenbewegungsmodelle für schwache seismische Ereignisse und geringe Abstände zwischen seismischer Quelle und Standort gebraucht sowie Kataloge registrierter oder synthetischer induzierter Seismizität.

### Geothermie S4-1.002

#### *Seismizität im Umfeld der Erdgasfelder von Völkersen und Söhlingen - auf der Suche nach nicht spürbaren seismischen Ereignissen*

**Gestermann, N.\*, Plenefisch, T., Ceranna, L.**

BGR Hannover, Seismologisches Zentralobservatorium/Kernwaffenteststopp, Hannover, Deutschland

Norddeutschland ist eine Region mit sehr geringer seismischer Aktivität. Neben einigen wenigen tektonischen Ereignissen haben sich in den letzten Jahrzehnten immer wieder Erdbeben im Umfeld der in Norddeutschland aktiven Erdgasfelder ereignet. Aufgrund der räumlichen Korrelation zu den bekannten Erdgasfeldern und ihres zeitlichen Auftretens nach Beginn der Förderung, werden diese Ereignisse von der BGR als induzierte Ereignisse bewertet.

Es handelt sich um Erdbeben mit Magnituden zwischen 1,9 und 4,5. Insgesamt sind es 35 Ereignisse aus dem Zeitraum zwischen 1976 und 2013. Viele von ihnen wurden von Teilen der Bevölkerung verspürt. Mit Abstand am stärksten war das Erdbeben bei Rotenburg vom 20.10.2004 mit einer Magnitude von 4,5. Die Ereignisse der letzten Jahre fanden zum größten Teil am Rand der beiden Erdgasfelder von Völkersen und Söhlingen statt. Hier wurden in den letzten Jahren zahlreiche neue seismische Stationen errichtet, allerdings sind die Standortbedingungen auf Grund der geologischen Verhältnisse zum überwiegenden Teil nicht gut. Auch der Einsatz teurer Bohrlochstationen kann dies nicht vollständig kompensieren, so dass bisher nur wenige Ereignisse mit einer Magnitude kleiner als 2 detektiert, lokalisiert und analysiert werden konnten. Unklar ist somit, ob sich induzierte Ereignisse von Natur aus durch eine geringe Anzahl von Vor- und

Nachbeben auszeichnen und sich damit von tektonischen Erdbebensequenzen unterscheiden, oder ob die Ereignisse bisher lediglich nicht aufgespürt werden konnten.

Vorgestellt werden verschiedene Verfahren zum Aufspüren schwacher Ereignisse und Ergebnisse für das Gebiet um das Erdgasfeld Völkersen. Zum Einsatz kommen Detektor-Algorithmen, die auf der Basis der Kreuzkorrelation Ähnlichkeiten zu bereits registrierten Wellenformen für Ereignisse im Untersuchungsgebiet nutzen. Zum Anderen werden Arrayverfahren für ein kleines Cluster von temporären Stationen, die seit Mitte 2012 zwischen Söhlingen und Völkersen in Betrieb sind, angewendet, um das Signal-zu-Noise Verhältnis zu verbessern. In gleicher Weise wird auch das etwas weiter östlich der Erdgasfelder gelegene Gorleben-Netz als Array genutzt. In einem dritten Ansatz werden Registrierungen von weiter entfernten Stationen ausgewertet, die durch sehr gute Standortbedingungen auf Festgestein eine niedrige Detektionsschwelle aufweisen.

## Geothermie S4-1.003

*Wurden die Erdbeben in 2012 in Emilia Romagna (20.05 Mw 6 and 29.05 Mw 5.8), Italien, durch die Ölförderung ausgelöst?*

**Dahm, T.<sup>1,2</sup>, Cesca, S.<sup>1,2</sup>, Braun, T.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, S2.1 Erdbeben und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland,

<sup>2</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>INGV, Seismological Observatory, Arezzo, Italien

Am 20. und 29. Mai 2012 traten in der Emilia Romagna, im Sedimentbecken der Po Ebene in Norditalien, zwei Schadensbeben mit Magnituden Mw 6.0 und Mw 5.8 auf. Die geringen Herdtiefen (6-10 km) führten zu schweren Schäden und hatten erheblichen Einfluss auf die regionale Wirtschaft. Es wurden 24 Todesfälle dokumentiert. Die sedimentäre Vorsenke in Norditalien wird von aktiven Aufschiebungszonen und Faltengebirgen begrenzt, die Apenninen und die südlichen Alpen. Die Konvergenz zwischen den beiden Zonen wird auf verborgenen, äußeren Verwerfungsfronten kompensiert. Die Emilia 2012 Beben wurden bisher durch diesen Prozess erklärt und daher als tektonisch induzierte Erdbeben eingestuft (z.B. Cesca et al., 2012, GJI, 193, 158-1672).

Im näheren Umfeld der Emilia Erdbeben befinden sich zwei Ölfelder (Cavone und Giacomo), die seit 1980 und 2005 gefördert wurden mit insgesamt etwa 3 Mt Öl und 70 Mm<sup>3</sup> Gas. Ebenso wurden geringe Mengen von Abwasser in das Feld re-injiziert. Dies führte zu den Bedenken von öffentlicher Seite, dass die Mw 5.8 und Mw 6.0 Beben durch die frühere Förderung beeinflusst sein könnten. Die Landesregierung hat daraufhin eine internationale Kommission eingesetzt, die diese Frage untersuchen soll.

Wir wenden eine moderne, probabilistische Diskriminierungsmethode an, um die Wahrscheinlichkeit abzuschätzen, ob die Erdbeben durch den Menschen ausgelöst wurden. Die Spannungsrate, die durch die Absackung der geförderten Formation entstehen, werden mit Hilfe einer Randelemente auf Basis des "Nuclei of Strain" Ansatzes abgeschätzt. Diese werden mit der rein tektonischen Spannungsrate verglichen und über ein Seismizitätsmodell (rate and state frictional model) in relative Erdbebenwahrscheinlichkeiten umgerechnet. Die Methode wurde bisher an Öl- und Gasfeldern in der Nordsee und dem Norddeutschen Becken getestet. Im Vergleich zu diesen Fällen ist die Ölproduktion in der Emilia Romagna gering und die natürliche Seismizitätsrate der Region groß.

## Geothermie S4-1.004

*Are the seismogenic responses of the Soultz and the Groß Schönebeck enhanced geothermal fields understood?*

**Gaucher, E.\*, Kohl, T.**

Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Applied Geosciences - Geothermal Research, Karlsruhe, Deutschland

In enhanced geothermal systems (EGS), hydraulic fracturing and hydraulic stimulation are techniques used to increase the reservoir permeability. Their secondary effect, the induced seismicity, is a unique means to image the fault network created or reactivated by the operations and to characterize the geothermal reservoir away from the wells. The interpretation of the results for this latter application is however limited by the capabilities of the seismic network and by our understanding of the involved physical processes.

Worldwide, only few EGS exist and the discrepancy between the field and the operational parameters at the different sites makes the comparison of the seismogenic responses difficult. However, in the case of Soultz (France) and Groß Schönebeck (Germany) fields, on which we focus here, the differences do not depend on depth, neither injected volume, nor stress field amplitude. So, they should depend on the reservoir formation (crystalline versus sediments) and - or - the injection schedule (long stepwise injection rate versus short strong pulses injection), and explain why thousands of seismic events were induced at Soultz whereas less than a hundred were induced at Groß Schönebeck. The hydro-mechanical processes involved during fluid injection and leading to rock failure can explain these observations. However, these interpretations and associated models require knowledge (at least) of the local stress field in direct

At these two EGS, seismic monitoring did not directly map fracture opening but rather shear failure on fractures and faults. Also, two types of seismicity induced by the injection operations were observed: first, the seismicity induced by pressure diffusion, which can be identified through the growth of the seismic cloud and the Kaiser effect. The second type of observed seismicity is that related to fault creeping which could be identified through seismic multiplets.

The better understanding of the fluid induced seismicity gained from these well characterized and well documented EGS raises, however, the question - among others - of the physical origin of the largest magnitude events occurring after injection. In other words, are these large post-injection events induced by pressure front diffusion, creep or stress reequilibrium, or any combination of these phenomena?

## Geothermie S4-1.005

*Induced seismicity mechanisms at The Geysers geothermal field from the analysis of stress field variations related to fluid injection*

**Martínez - Garzón, P.\*<sup>1</sup>, Bohnhoff, M.<sup>1,2</sup>, Kwiatek, G.<sup>1</sup>, Dresen, G.<sup>1</sup>, Hartline, C.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, 3.2 Geomechanics and rheology, Potsdam, Deutschland,

<sup>2</sup>Free University Berlin, Institute of Geological Sciences, Berlin, Deutschland, <sup>3</sup>Calpine Corporation, Middletown, California, USA

We searched for spatio-temporal variations of the local stress field orientation at The Geysers geothermal field by inverting fault plane solutions of induced seismic events. To estimate the deviatoric stress tensor and the relative stress magnitude (R), we applied a linear stress inversion scheme involving bootstrap uncertainty assessment using an updated version of SATSI (Hardebeck and Michael, J. Geophys. Res., 2006) that includes several additional features and it is freely available (Martínez-Garzón et al., subm. to Seism. Res. Lett.).

First, we investigated the stress field orientation at different depths using high quality focal mechanisms of induced seismicity distributed over the reservoir. Results indicate a normal stress regime at the reservoir depth whereas strike-slip regime is observed above and below. This observation is interpreted to reflect the reduction of the horizontal stresses due to long-term depletion of geothermal reservoirs (Segall and Fitzgerald, Tectonophys. 1998). This interpretation is supported by the temporal evolution of the stress field orientation over the reservoir as well as by the obtained R values.

Second, we focused on a prominent seismicity cluster where temporal variations of the stress field orientation related to reservoir stimulation were detected and analyzed. We observe a change in the stress

field orientation during the peak-flow rate of fluid injected into the reservoir (Martínez-Garzón et al., Geophys. Res. Lett., 2013). This observation has been interpreted as an effect of the pore pressure increase and the consequent increase in the magnitude of the horizontal stresses at reservoir level. According to this, the relative stress magnitude decreases over time assuming a majority of normal faulting regime.

Third, we analyzed the potential predominant mechanisms of the induced seismicity at The Geysers during the different stages of the injection process using a high-resolution double-difference derived hypocenter catalog. For this, spatial characteristics and kinematics of the seismicity have been analyzed. Our results suggest that at the initial injection stage, the seismicity of the cluster may be connected with the thermal fracturing of the reservoir rock associated to cooling from fluid injection. However, during peak injections, different properties of the seismicity suggest that the responsible mechanism may be the pore pressure increase, even when the pore pressure still remains at very low values.

## Geothermie S4-2.001

### *The localization of weak alteration zones in granitic reservoir rocks*

**Meller, C.\*, Kohl, T.**

KIT, Inst. f. Angew. Geowiss., Abteilung Geothermie, Karlsruhe, Deutschland

Knowledge of petrophysical and mineralogical parameters in a geothermal reservoir is essential for the estimation of rock mechanical behaviour during hydraulic stimulation. The strength of a rock is determined by manifold petrophysical parameters. Most parameters can only be indirectly measured via different logging techniques. Logging data represent the petrophysical parameters in a multidimensional way. Neural networks are well-suited to deal with datasets of such large dimensions. We describe a neural network (NN) based method to map clay bearing fracture zones indirectly from spectral gamma logs. Thus, a semi-quantitative synthetic log is created showing the clay content along the geothermal wells in Soultz sous Forêts.

In order to calibrate the synthetic logs, a method is needed, which is able to detect alteration zones inside the granitic reservoir. Hydrothermal alteration in the Soultz granite goes along with a transformation of magnetite into martite. We test the applicability of susceptibility measurements on cuttings as a tool to detect altered facies. We could show that to a certain degree this fast and easily applicable measuring method is able to assess the alteration grade of rock.

The combination of these two methods makes it possible to localize clay bearing zones along boreholes, which affect the mechanical reservoir properties and may be responsible for aseismic movements.

## Geothermie S4-2.002

### *High-resolution reservoir characterization using induced seismicity and state-of-the-art waveform processing techniques*

**Kwiatek, G.\*<sup>1</sup>, Bohnhoff, M.<sup>1,2</sup>, Martínez - Garzón, P.<sup>1</sup>, Bulut, F.<sup>1</sup>, Dresen, G.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, 3.2 Geomechanics and rheology, Potsdam, Deutschland,

<sup>2</sup>Free University Berlin, Institute of Geological Sciences, Berlin, Deutschland

In this study we present applications of three processing techniques to investigate physical processes acting during stimulation of geothermal reservoirs. The double-difference relocation, the spectral ratio technique and the stress inversion are used to analyze induced seismicity generated by fluid injection at The Geysers and Berlin geothermal fields.

The analysis of 581 induced seismic events related to stimulation at the Berlin geothermal field is used as a case study showing that double-difference and spectral ratio methods significantly improve the precision of hypocenter locations and source parameters. The average precision of the original catalog was >300m. Applying the relocation technique resulted in lowering the average relative hypocentral location misfit down to ~20m. The refined locations allowed for a detailed analysis of spatio-temporal evolution of the seismicity previously not visible due to limited resolution of the original catalog: clustering around injection wells and in areas of high conductivity, migration away from injection interval with increasing injection rates along the preexisting faults, Kaiser effect and occurrence of larger seismic events in undamaged parts of the faults. In the following, the source parameters were recalculated and refined using the spectral ratio technique. The original source parameters were significantly affected by high attenuation observed in the investigated area.

However, the spectral ratio method effectively cancelled path effects revealing valuable information of the refined dataset: increasing stress drop of seismic events with the distance from injection interval and large magnitude events located in the strong gradients in the conductivity of the reservoir.

Finally, stress inversion applied to a seismicity cluster in the NW part of The Geysers geothermal field demonstrated how this technique can contribute in the monitoring of reservoir geomechanical processes occurring in response to short-term fluid-injection. The analyzed cluster composed of 742 events was used to perform the time-dependent stress inversion using MSATSI Matlab library. We observed significant rotations of the stress field orientation directly related to increasing flow rates during fluid injection. Moreover, these stress rotations are reversible; documenting that stress field orientation might be interpreted on geomechanical basis and used as an additional proxy to monitor reservoirs during and after stimulation.

## **Geothermie S4-2.003**

### *High-precision relocation of induced seismicity in the geothermal system below St. Gallen (Switzerland)*

**Diehl, T.<sup>1</sup>, Kraft, T.<sup>1</sup>, Kissling, E.<sup>2</sup>, Deichmann, N.<sup>1</sup>, Wiemer, S.<sup>1</sup>, Clinton, J.<sup>1</sup>, Waldhauser, F.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Swiss Seismological Service, ETH Zurich, Zurich, Schweiz, <sup>2</sup>Institute of Geophysics, ETH Zurich, Zurich, Schweiz, <sup>3</sup>Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, New York, USA

Between July and November 2013 a sequence of more than 850 events, of which more than 340 could be located, was triggered in a planned hydrothermal system below the city of St. Gallen in eastern Switzerland. Seismicity initiated on July 14 and the maximum local magnitude (MI) in the sequence was 3.5, comparable in size with the MI 3.4 event induced by stimulation below Basel in 2006.

To improve absolute locations of the sequence, more than 1000 P and S wave arrivals were inverted for hypocenters and 1D velocity structure. Vp of 5.6-5.8 km/s and a Vp/Vs ratio of 1.82-1.9 in the source region indicate a limestone or shale-type composition and a comparison with a lithological model from a 3D seismic model suggests that the seismically active streak (height up to 400 m) is within the Mesozoic layer. To resolve the fine structure of the induced seismicity, we applied waveform cross-correlation and double-difference algorithms. The results image a NE-SW striking lineament, consistent with a left-lateral fault plane derived from first motion polarities and moment tensor inversions.

A spatio-temporal analysis of the relocated seismicity shows that, during first acid jobs on July 17, microseismicity propagated towards southwest over the entire future MI 3.5 rupture plane. The almost vertical focal plane associated with the MI 3.5 event of July 20 is well imaged by the seismicity. The area of the ruptured fault is approximately 675x400 m. Seismicity images a change in focal depths along strike, which correlates with a kink or bend in the mapped fault system northeast of the MI 3.5 event. This change might indicate structural differences or a segmentation of the fault. Following the MI 3.5 event, seismicity propagated along strike to the northeast, in a region without any mapped faults, indicating a continuation of the fault segment. Seismicity on this segment occurred in September and October. A complete rupture of the NE segment would have the potential to produce a magnitude larger than 3.0.

Similarity of waveforms suggests that an MI 3.2 in 1987 and an MI 2.2 event in 1993 occurred on a similar structure with a similar slip direction as the MI 3.5 event. It appears that the fault zone targeted by the geothermal project is not only oriented favorably for rupture relative to the regional stress field, but is also close to failure.

## Geothermie S4-2.004

### *Change of stress regime during geothermal reservoir stimulation*

**Schoenball, M.<sup>\*1</sup>, Dorbath, L.<sup>2</sup>, Gaucher, E.<sup>1</sup>, Wellmann, J.F.<sup>3</sup>, Kohl, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruhe, Deutschland,

<sup>2</sup>Université Louis Pasteur, Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Strasbourg, Frankreich, <sup>3</sup>CSRIO Earth Science and Resource Engineering, Kensington, Australien

Seismicity can be induced in previously seismically inactive regions by man-made changes of the stress field. Notable stress perturbations are created by injection or withdrawal of fluids such as wastewater, fresh water or hydrocarbons. Over the last decades our knowledge of the physical processes of induced seismicity has improved largely. However, the driving force of seismicity, i.e. the actual perturbation of the stress field in the reservoir during fluid injection, remains largely unknown up to now. Measurements of fluid pressure at the well are not enough to extrapolate the pressure change in the reservoir.

Here we study the evolution of the stress field during a massive hydraulic stimulation of a 5 km deep well at the enhanced geothermal system at Soultz-sous-Forêts, France. Fresh water was pumped with rates of 30 to 50 l/s for 6 days. Locations of 7215 events with maximum magnitude of MW=2.5 were obtained, for 715 events with MW > 1 focal mechanism solutions were derived.

At first we present observations of several peculiar phenomena of the seismicity migration, of fluid flow and earthquake mechanisms following the shut-in of the well, which indicate to yet not understood hydro-mechanical coupling mechanisms in connection with shut-in. In order to analyze the changes of the stress field during and after the stimulation we identify the fracture planes from the two nodal planes by a probability-based method where we incorporate structural geological information gained from well logs and uncertainties of the determination of focal mechanism solutions and independent estimates of the stress field. In principle, this approach is able to incorporate further uncertainties, if available.

We then conduct stress inversions resolved in time and depth to study spatio-temporal changes of the stress tensor. Our results show an increasingly perturbed stress state with time with a strong reduction of the horizontal shear stresses in areas of highest seismic activity. Here the stress regime changes from a transitional normal faulting/strike-slip faulting regime with Sv similar to SH to a pure normal faulting regime with SH similar to Sh. Following shut-in seismicity migrates upwards into previously inactive areas, showing a much less perturbed stress regime.

## Geothermie S4-3.001

### *Seismic investigations of a geothermal field in Southern Tuscany, Italy*

**Riedel, M.<sup>\*</sup>, Alexandrakis, C., Buske, S.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg, Deutschland

The Monte Amiata region in the Southern Tuscany, Central Italy, describes a volcanic complex with great significance in terms of the regional fresh water supply, mining and geothermal power generation. Mainly for the latter purpose, the volcanic area of Mt. Amiata has been the subject of extensive geological and geophysical research.

The insights from these studies have led to successful geothermal production in the Mt. Amiata region since the early 1960s. Today's most important reservoirs in this area are the Bagnore and the Piancastagnaio fields which are both operated by Enel Green Power.

Therefore, in order to get a more detailed understanding of this area, five reflection seismic profiles were carried out. On three of them, we performed and tested different depth migration methods.

The vital point of depth migration algorithms is the accuracy of the velocity model that is used for the backpropagation of the seismic data. Therefore, we derived a suitable 1D starting model from nearby well logs and VSP measurements. In order to remove the large topography effects along the profiles, we then utilized first-arrival tomography for each seismic line. For the following processing we incorporated these 2D tomographic results into our starting model which compensates for static effects and improves the resolution in the near-surface area. The velocity models were then used in the application of KPSDM to the seismic data for each profile, respectively.

Moreover, we applied a focusing depth migration method (Fresnel Volume Migration (FVM), which limits the migration aperture to the volume that physically contributes to a target reflection/diffraction. This

methodology significantly improves the quality of the migrated image and therefore yields a better result than conventional KPSDM or time migration.

In comparison with time-domain imaging methods we conclude that depth migration generally provides an increased lateral resolution which is due to its flexibility with respect to lateral velocity heterogeneities in the near surface. This advantage particularly benefits the imaging of fine-scale structures and geological faults.

In summary, the applied seismic techniques deliver a well-resolved image of the subsurface for a profound characterization of the geothermal reservoir.

## **Geothermie S4-3.002**

### *3D seismische Exploration im Kristallin für das sächsische Tiefengeothermieprojekt bei Schneeberg im Westerzgebirge*

**Hellwig, O.\*, Hlousek, F., Buske, S.**

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Im Rahmen der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Erforschung und Erschließung alternativer Energieträger wird derzeit das Verbundprojekt "Seismik im Kristallin" zur seismischen Erkundung eines tiefengeothermischen Reservoirs im Kristallin des West-Erzgebirges bei Schneeberg durchgeführt. Ziel des Projektes ist die hochauflösende, dreidimensionale Abbildung und Charakterisierung der geologischen Struktur bis in eine Tiefe von 6 Kilometern mit Hilfe moderner Abbildungsverfahren. Die gegebenenfalls vorhandene Klüftigkeit könnte in Zukunft als natürlicher Wärmetauscher für ein petrothermales Kraftwerk in der Nähe von Schneeberg genutzt werden.

Das NW-SO streichende Gera-Jáchymov-Störungssystem bildet die regional dominierende Struktur im Untersuchungsgebiet. Die wesentlichen geologischen Einheiten sind durch jahrhundertelangen Bergbau mit Aufschlüssen bis in 2 km Teufe sehr gut bekannt. Ziel der seismischen Untersuchungen ist die Abbildung der zum Teil steil stehenden Störungssäste in größerer Tiefe. Hierfür wurde 2012 auf einer Fläche von etwa 10 km x 13 km eine hochauflösende 3D-Vibro-seis-Messung mit über 5300 Anregungspunkten und etwa 8000 Empfängerpunkten durchgeführt. Ergänzend wurde eine Weitwinkelmessung (Sprengseismik) mit 10 Profilen radial um das Zentrum der Messfläche angeordnet.

Für die Auswertung des Datensatzes wurden unter anderem fokussierende Prestack-Tiefenmigrationsverfahren weiterentwickelt und angewendet, die speziell für die hochauflösende Abbildung steil stehender Strukturen im Kristallin geeignet sind. Diese Abbildungsverfahren liefern ein detailliertes Bild der Strukturen und Störungen in einer Tiefe zwischen 2 und 5 km und erlauben eine verlässliche Charakterisierung des tiefengeothermischen Reservoirs. Gleichzeitig gibt das 3D Abbild wichtige Anhaltspunkte für die Planung einer Forschungsbohrung, die das geothermische Potential in-situ erkunden soll.

## **Geothermie S4-3.003**

### *3D-Seismik für die petrothermale Geothermie im Erzgebirge zeigt reichhaltiges Strukturinventar im Granit*

**Lüschen, E.\*, von Hartmann, H., Thomas, R., Schulz, R.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Bei der Erkundung von hydrothermalen Reservoiren im Süddeutschen Molassebecken und im Oberrheingraben ist die Anwendung der 3D-Seismik seit 5 Jahren schon gängige Praxis. Eine solche Messung wurde nun erstmalig im Granit des kristallinen Grundgebirges im westlichen Erzgebirge innerhalb der Gera-Jáchymov-Störungszone durchgeführt. Hauptziel der Messungen ist, steilstehende Störungen mit ihrer möglichen Wasserwegsamkeit abzubilden und zu charakterisieren. Zieltiefe ist 5-6 km im Granit-Pluton mit erwarteten Temperaturen oberhalb von 150°C. Solche petrothermalen Reservoirs besitzen in Deutschland ein weitaus größeres geothermisches Potenzial als die hydrothermalen Reservoirs. Es sollte auch geprüft werden, inwieweit sich die 3D-Seismik im Kristallin als Werkzeug der Vorerkundung eignet. Fehlende geschichtete Lagerungsverhältnisse wie sie in Sedimentbecken bei der seismischen Exploration nach Öl- und Gaslagerstätten anzutreffen sind, stellen neue Herausforderungen dar.



Die zwei-monatige Messkampagne auf der 10 km x 12 km großen Fläche wurde unter Leitung des LIAG neben den Begleitarbeiten im 2. Halbjahr 2012 von der Firma DMT mit der Vibroseis-Technik durchgeführt, zusammen mit der Fa. IPS für das Permit. Ein sprengseismisches Spezialexperiment wurde integriert, ausgeführt von DMT und der Fa. Celler Brunnenbau, registriert durch die TU Bergakademie Freiberg. Über die Datenbearbeitung und die Interpretation am LIAG, begleitet durch spezielle Bearbeitungen durch die Fa. DMT-Petrologic, wird hier berichtet. Neben einer konventionellen CMP-Bearbeitung kommen hierbei CRS-Stapelungen und Pre-Stack Migrationen zum Einsatz und zum Vergleich. Die Institute für Geophysik der Universität Hamburg und der TU Bergakademie Freiberg tragen mit experimentellen und neu entwickelten Imaging-Methoden bei.

Nachdem schon erste konventionelle Methoden ein reichhaltiges Strukturinventar des Granits zeigten, führten CRS-Techniken und Pre-Stack Migrationen, insbesondere unter Beibehaltung der Amplitudeninformationen, zur enormen Verbesserung der Strukturabbildung. Steilstehende Verwerfungen werden mit unterschiedlichen Eigenschaften entweder direkt oder indirekt abgebildet. Die moderne 3D-Seismik hat sich mit diesem (weltweit) einzigartigen Datensatz auch im kristallinen Grundgebirge als unverzichtbares Explorationsinstrument bewährt, um Bohrpfade für eine mögliche Forschungsbohrung zu diskutieren. Dieses Verbundprojekt wird vom Bundesumweltministerium gefördert unter FKZ 0325363A.

### **Geothermie S4-3.004**

#### *Elektromagnetische Explorations- und Überwachungsmethoden in der Geothermie - Ein virtuelles transientelektromagnetisches Experiment am Roten Kamm bei Schneeberg (Sachsen)*

**Börner, J.\*, Bär, M., Spitzer, K.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Bei der Tiefengeothermie bestehen neben der strukturellen Abbildung der geologischen Einheiten im Untergrund - wofür seismische Verfahren besonders geeignet sind - zusätzliche Fragestellungen z.B. hinsichtlich Porosität und Klüftigkeit des Gesteins, Wassergehalt und -zusammensetzung in potentiellen Reservoiren.

Gestalt und Porenfüllung des für die Wärmeproduktion stimulierten Kluftsystems müssen nicht nur initial beschrieben werden, sondern dauerhaft auf ihre Stabilität hin überwacht werden. Unter diesen Gesichtspunkten stellen elektromagnetische Methoden eine entscheidende Ergänzung zu seismischen Verfahren dar, vor allem da sie hochsensitiv auf Änderungen in der Porenfüllung der Gesteine reagieren

Wir stellen eine Methodik vor, wie mit Hilfe virtueller Experimente elektromagnetische Messungen für das Monitoring eines stimulierten geothermischen Kluftsystems konfiguriert und optimiert werden können. Dazu werden bestehende 3D-Modelle des Untergrundes als Geometrie eingebunden, vernetzt, mit realistischen elektrischen Gesteinseigenschaften besetzt und für Finite-Elemente-Simulationen verwendet

Exemplarisch stellen wir Berechnungen transientelektromagnetischer Felder für den zukünftigen Tiefengeothermiestandort am Roten Kamm bei Schneeberg (Sachsen) vor. Wir zeigen, dass mit einer Quelle an der Erdoberfläche und einem Empfänger im Bohrloch Änderungen im Messsignal - hervorgerufen durch das stimulierte Kluftsystem in mehr als 5000 m Tiefe - von etwa 25% erwartet werden können.

### **Geothermie S4-4.001**

#### *Characterisation of geothermally relevant basement structures by FE gravity forward modelling*

**Abdelfettah, Y.<sup>1</sup>, Schill, E.\*<sup>2</sup>, Kuhn, P.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>CHYN, UNINE, Neuchâtel, Schweiz, <sup>2</sup>Institut für Nukleare Entsorgung INE, KIT, Karlsruhe, Deutschland,

<sup>3</sup>swisstopo, Bundesamt für Landestopografie, Wabern, Schweiz

Permo-Carboniferous graben structures within the Variscan crystalline basement are distributed all over the European continent (McCann et al., 2006). Their boundary faults represent geothermally relevant features in Switzerland and may account for the large scale E-W hydrothermal circulation in the Upper Rhine valley. First interpretation on the extension of the most prominent graben, the Northern Swiss trough, are based on gravity data (Klingelé and Schwendener, 1984). Although weak reflections in the basement may be either caused by Paleozoic sediments, shear zones and lithological contrasts within the basement, or alternatively,

by seismic artefacts, such as multiples or remnants of reflection point smearing, further PC grabens were investigated by seismic methods, only (Gorin et al., 1993; Sommaruga et al., 2012).

In this study, we have used preferential Butterworth filters of different wavelength to constrain gravity forward modelling. In order to systematically assess the potential of the gravity data to detect and characterize the horizontal and vertical extension of the Permo-Carboniferous basins underneath the Molasse basin, the Jura Mountains and the Rhine graben, we have evaluated successively increasing or decreasing wavelengths. Since the sensitivity analysis revealed a link between increasing frequency limit and structure size (depth), our way of data analysis represents a pseudo-tomography. Residual anomaly obtained using band pass filter of a wavelength interval of  $\lambda = 10\text{-}30$  km evidences mainly the effect of Cenozoic sediments. The orientation of these negative anomalies is in good agreement with the distribution of recent glacial structures. Due to the deepening of the Molasse basin, PC grabens occur successively at greater depth towards the Alps. Thus, increasing filter-wavelength unravels typically more information on the southern part of the investigated area. In conclusion, the combination of, mainly, the high pass and band pass Butterworth filter and 3D FE forward modeling is a powerful tool to characterize the extension of the embedded bodies at different depth. The modeled PC basins in Northern Switzerland show furthermore good agreement with the surface faults known to reach into the crystalline basement such as the Vorwald-Fault.

## **Geothermie S4-4.002**

### *Evaluation of the geothermal energy potential of a reservoir in Southern Italy*

**Niederau, J.<sup>1</sup>, Ebigo, A.<sup>1</sup>, Marquart, G.<sup>1</sup>, Pechnig, R.<sup>2</sup>, Clauser, C.\*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute for Applied Geophysics and Geothermal Energy, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland,

<sup>2</sup>Geophysica Beratungsgesellschaft mbH Aachen, Aachen, Deutschland

**Introduction:** A region in Southern Italy (Guardia dei Lombardi, Province of Avellino) is being explored as a medium-enthalpy geothermal resource. The chosen area (with overall dimensions of 42 x 28 km) is characterized by a local specific-heat-flow maximum of 90mW/m<sup>2</sup>. A three-dimensional geological model based on seismic profiles and hydrocarbon exploration wells shows the upper surface of the cretaceous Apulian platform as a faulted anticline overlain by dense, partly clay-rich sedimentary layers.

**Basal heat flow:** In previous work, the basal specific heat flow was calibrated to temperature data from six different wells under the assumption of purely conductive heat transport using the simulation code SHEMAT-Suite. It is assumed that water flow occurs primarily through fracture and fault networks. Accounting for advection - especially through active faults - on the temperature distribution calls for a re-evaluation of the specific heat flow at 6 km depth. This inversion is based on a deterministic Bayesian approach. Thermal conductivity values for the lithological units and their uncertainties are deduced from laboratory measurements on rock samples together with logging interpretation.

**Energy potential:** The geothermal energy potential is estimated at different depths within the reservoir with the overall goal of identifying promising geothermal conditions for future exploitation. Based on this geothermal reservoir model, a doublet-system scenario is designed. Simulation results of the production scenario are evaluated with respect to a feasible operation of a hypothetical geothermal energy production site at "Guardia dei Lombardi".

## **Geothermie S4-4.003**

### *On the impact of spatial heterogeneous permeability distributions on the development of free convection cells in the Perth Basin, Australia.*

**Niederau, J., Ebigo, A., Marquart, G., Clauser, C.\***

Institute for Applied Geophysics and Geothermal Energy, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

The Perth Basin is a north-south trending sedimentary rift basin at the southwest margin of Australia. Recent increase in exploration of the geothermal energy potential of the Perth Metropolitan Area (PMA) results in the need for reliable and robust models in order to explore reservoir properties and temperature distributions in the subsurface. Much emphasis has been put on the assessment of free convection cells which are likely to be found in a main reservoir (Yarragadee Aquifer). Their characterization depends mainly on structure and

permeability heterogeneity. While the basin structure has recently been refined, the heterogeneity of permeability is currently neglected. A 3D tectonostratigraphical model of the Perth basin with focus on the PMA is constructed using well data. The focus is on an adequate representation of the Yarragadee Aquifer, a succession of fluvial Jurassic sediments with high mean permeability and a mean thickness exceeding 1200 m. Nonetheless, measurements show that permeability varies over orders of magnitude within the Yarragadee aquifer (Sheldon et al., 2012). In our numerical models we consider spatial heterogeneity of porosity and permeability. Two different hydrothermal cases are simulated using the FD code SHERAT-Suite, in order to assess the influence of poro-perm heterogeneity on the development of free convection cells: 1. numerical model with homogeneous permeability 2. numerical model with porosity and permeability decreasing with depth, thus representing compaction.

The model results show the impact of correlation length of petrophysical parameters on the characteristic wavelength of convection cells.

The simulated cases show distinct differences in the distribution of convection cells. While regions of downflow (where the Yarragadee Aquifer is in contact with overlying aquifers) have a strong impact on the temperature regime, the spatial change in permeability seems to control the convection pattern and cell size. In a next step models with a conditional random permeability field will be assessed. As a precondition for realistic permeability fields, porosity distributions are deduced from well logs and linked to permeability by a calibrated correlation.

Sheldon, H.A., Florio, B., Trefry, M.G., Reid, L.B., Ricard, L.P., Ghori, K.A.R. 2012. The potential for convection and implications for geothermal energy in the Perth Basin, Western Australia. *Hydrogeology Journal*, Vol. 20, I. 7, 1251-1268.

## Geothermie S4-4.004

*Entwicklung eines numerischen Werkzeugs zur Rissausbreitung und erster Abgleich mit hydraulischen Spaltversuchen im Labor*

**Clauser, C.<sup>1</sup>, Willbrand, K.<sup>1</sup>, Siebert, P.<sup>2</sup>, Weber, N.<sup>3</sup>, Fries, T.<sup>4</sup>, Feinendegen, M.<sup>2</sup>, Ziegler, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für angewandte Geophysik und geothermische Energie, E.ON ERC, RWTH Aachen, Aachen, Deutschland, <sup>2</sup>Geotechnik im Bauwesen, RWTH Aachen, Aachen, Deutschland, <sup>3</sup>Lehrstuhl für computergestützte Analyse technischer Systeme, RWTH Aachen, Aachen, Deutschland, <sup>4</sup>Institut für Baustatik, TU Graz, Graz, Österreich

Unser Vorhaben zielt auf die Entwicklung einer Bewertungsmethode für die Auslegung und langfristige Nutzung tiefer Geothermiesysteme ab. Der Fokus liegt auf dichtem, heißem Tiefengestein, in dem ein Wärmetauscher durch gezielte hydraulische Stimulation technisch angelegt werden soll. Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Geothermiekraftwerks hängt stark von der Effizienz des angelegten Tiefenwärmetauschers ab. Daher widmen wir uns aktuell der Entwicklung und Verifizierung einer Software, die die dreidimensionale Ausbreitung hydraulisch induzierter Risse möglichst rechenzeitorientiert simuliert. Wir präsentieren hier den aktuellen Stand in Entwicklung und Verifizierung. Langfristig soll der skalierte Rissausbreitungscode im Feld verifiziert und mit der Reservoir-Simulationssoftware SHERAT gekoppelt werden, um verschiedene Rissauslegungsszenarien hinsichtlich von Aspekten wie Energieausbeute, langfristiger Nutzbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu bewerten, bzw. zu optimieren.

## Geothermie S4-5.001

*Betriebsführung eines Bürogebäudes optimiert hinsichtlich Exergieverbrauchs*

**Michalski, A.<sup>\*</sup>, Klitzsch, N., Clauser, C.**

Institut for Applied Geophysics and Geothermal Energy, RWTH Aachen Universität, Aachen, Deutschland

Ein geothermisches Sondenfeld eines multifunktionalen Gebäudes ist in die exergetisch optimierte Betriebsführung eingebunden. Wir stellen die hierfür eingesetzten Werkzeuge und erzielten Ergebnisse vor. Das E.ON Energy Research Center der RWTH Universität Aachen stellt ein neues Konzept zur dynamisch optimierten Betriebsführung eines Gebäudes dar. Ausgestattet ist das Gebäude mit einer Wärmepumpe an die zur Wärme- und Kälteversorgung ein Erdwärmesondenfeld angekoppelt ist. Dies ermöglicht eine nachhaltige und ökologische Betriebsführung des Gebäudes.

Das Sondenfeld besteht aus 40 Erdwärmesonden, die um das Gebäude angeordnet sind. Die Sonden sind Doppel U-Rohrsonden mit einer Tiefe von 100 Metern, welche mit einem Glykol-Gemisch von 35 % betrieben werden. Der Volumenstrom jeder Sonde kann zusätzlich nach Bedarf individuell eingestellt werden. Um die Projektziele einer nachhaltigen und optimierten Betriebsführung zu gewährleisten, bedarf es eines Überwachungssystems zur Erfassung der Temperatur des Untergrundes. Hier wird ein neuartiges faseroptisches Messsystem verwendet, bei dem jede Sonde mit einem Lichtwellenleiter ausgestattet ist. So lassen sich Temperaturdaten in unmittelbarer Nähe und in Echtzeit an jeder Erdwärmesonde aufzeichnen. Diese dienen zur Kalibrierung von Simulationsergebnissen für die Temperaturverteilung im Untergrund. Als Eingangsdaten für die numerische Simulation dienen die Vor- und Rücklauftemperatur und die damit resultierende Leistung aus dem Betrieb der Wärmepumpe. Zur Simulation wird die am Institut entwickelte SHEMAT-Suite Software verwendet, ein Finite-Differenzen-Simulationsprogramm für Wärme- und Massetransport im Untergrund.

Zusätzlich sind zwei der 40 Erdwärmesonden mit einem Hybridkabel ausgestattet bestehend aus einem Wellenleiter und einem Kupferdraht. Mit einer derartigen Anordnung lassen sich Enhanced Geothermal Response Tests durchführen. Dabei lassen sich über das Aufheizen des Drahtes und der Messung der entstehenden Temperaturunterschiede direkte Unterschiede im Wärmetransport des Untergrundes tiefe aufgelöst bestimmen. Solche Änderungen hängen nicht nur mit den Wärmeleitfähigkeiten des Untergrundes zusammen, sondern auch mit dem advektiven Wärmetransport durch Grundwasserströmung.

## **Geothermie S4-5.002**

### *Möglichkeit zur Bestimmung von in-situ Temperaturen geothermischer Reservoirs durch den Einsatz von thermo-sensitiven Tracern*

**Maier, F.\*, Licha, T.**

Angewandte Geologie, Georg-August-Universität, Göttingen, Deutschland

Bei der Nutzung geothermischer Energie z.B. zur Stromgewinnung wird über geothermische Doubletten aus tiefen geologischen Schichten Wärmeenergie gefördert. Das dabei angewandte - aus ökologischer und ökonomischer Sicht wichtige - Verfahren der Re-injektion führt jedoch zu einer Auskühlung der geothermischen Reservoirs. Die Detektion der ausgekühlten Zone, sowie ihre räumliche und zeitliche Entwicklung ist eine große Herausforderung. Speziell das Risiko eines thermischen Kurzschlusses zwischen den genutzten Bohrungen erfordert Methoden, welche frühzeitig eine Abschätzung der zu erwartenden thermischen Entwicklung zulassen.

Eine Methode ist der Einsatz von chemischen Substanzen, sog. Tracern. Diese werden zusammen mit dem thermalen Wasser über den Injektionsbrunnen in den geothermalen Horizont eingeleitet. Bis heute wird dabei aus dem zeitlichen Verlauf der Tracerdurchbruchskurven, welche direkt Auskunft über den vorliegenden Stofftransport geben, über analytische oder numerische Retardationsrelationen auf den thermischen Transport geschlossen (z.B. Pruess and Doughty, 2010). Um diese indirekte Methode zu erweitern, wird der Einsatz von Tracern mit erweiterten Eigenschaften diskutiert. Thermo-sensitive Tracer (TST) erlauben mit ihrer temperaturabhängigen Reaktionsgeschwindigkeit eine direkte Messung der Wärmeverteilung im Reservoir. Dabei kann aus dem Unterschied der Tracerdurchbruchskurven eines inertem Referenztracer und eines TST auf eine in-situ Temperatur(verteilung) geschlossen werden. Die neu entwickelten TST lassen sich aufgrund ihrer fluoreszierenden Eigenschaft online messen.

Aktuell wurden TST auf Basis von Estern und Säureamiden mit unterschiedlichen thermischen Stabilitäten entwickelt. Besonders Ester eignen sich, aufgrund ihrer schnellen Reaktionsgeschwindigkeit bei Injektionstemperaturen von ca. 20 - 80 °C, als Tracer für Kurzzeitversuche im Injektionsbereich z. B. in Push-Pull Experimenten. Um das Potential dieser Tracer für den Feldeinsatz zu bestimmen, wurde ein Säulenversuch konzipiert. Dabei kann über eine differentielle Heizung ein nicht-isothermes Fließfeld innerhalb der Säulen eingestellt und beprobt werden. Damit konnte die grundlegende Theorie der TST bestätigt werden. Unter Berücksichtigung der pH abhängigen Hydrolysereaktion konnten aus Einzelexperimenten, eine fast gradgenaue Bestimmung der in-situ Temperatur erreicht werden. Die Bestimmung des "ausgekühlten" Volumens erreichte eine Genauigkeit im unteren 2-stelligen Prozentbereich.

## **Geothermie S4-5.003**

*Numerical Simulations of Fluid Induced Seismicity in Hydraulically Heterogeneous Media*  
**Galindo Guerreros, J.<sup>\*1,2</sup>, Dinske, C.<sup>2</sup>, Langenbruch, C.<sup>2</sup>, Shapiro, S.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland, <sup>2</sup>Freie Universität Berlin, Geophysik, Berlin, Deutschland

The subject of the presented work is the study of the influence of hydraulic heterogeneous media on pore pressure diffusion during fluid injection stimulations. Furthermore, it is analyzed how these heterogeneities are affecting the triggering of fluid-induced seismicity in comparison to the homogeneous case. Moreover, this work addresses the question whether it is sufficient or not to consider a homogenous distribution of hydraulic diffusivity in the Seismicity Based Reservoir Characterization (SBRC) approach. For this purposes, numerical simulations of fluid injections were conducted in reservoir rocks described as two- and three-dimensional fractal media. Therefore, Comsol was used, a Finite-Element-Method (FEM) based solver software, to simulate diffusion in hydraulically heterogeneous media. The pore pressure were obtained for models with different fractal dimensions characterizing a varying degree of heterogeneity of the medium. The results were compared with the pore pressures obtained from homogeneous models characterized by an effective hydraulic diffusivity equal to the statistical mean value of log-normally distributed heterogeneous media. A general finding of this study is that an increasing complexity of heterogeneity with increasing fractal dimension can significantly influence the behavior of the pore pressure perturbation in the stimulated reservoir compared to homogeneous models. These perturbations considerably affect the reactivation of pre-existing fractures, which allows to study the triggering of seismic events. Pore pressure differences up to 30 % were observed which result in seismicity rate differences of approximately 64 % below and 52 % above the hydraulic homogeneous reference case. The presented approach was then used to simulate the pore pressure diffusion and the linked triggered seismicity at the German Deep Drilling Program (KTB). The simulated fractal model, correlated with real hydraulic diffusivity logging data from the KTB via the interpolation method Kriging, provided a good representation of the reservoir rock. With that it was possible to reconstruct the spatio-temporal evolution of induced seismicity and to estimate a similar hydraulic diffusivity.

## **S4 Geothermie Poster**

### **Geothermie S4-P.001**

*Varianzanalysen seismischer Daten des kristallinen Untergrundes zur Abbildung von Störungen*  
**von Hartmann, H.\*, Bunes, H., Lüschen, E., Thomas, R., Schulz, R.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Störungen sind bedeutende Elemente eines geothermischen Reservoirs, da sie das Reservoir unterteilen und Zonen verminderter oder erhöhter Durchlässigkeit schaffen. Für das Kristallin werden Störungszonen als Bereiche erhöhter Durchlässigkeit betrachtet und sind daher für die geothermische Exploration besonders interessant. Die Störungen und Kluftsysteme entwickeln sich in Abhängigkeit von der Rheologie der Gesteine und dem Spannungsfeld. Hierbei kommt es zu einer ganz bestimmten Ausprägung der Störung, die z. B. durch die Breite einer Auflockerungszone bestimmt wird. Von dieser Zone hängt es ab, ob eine Störung seismisch reflektiert oder nur indirekt über den Versatz von Schichtflächen zu erkennen ist. Eine solche Störungszone bildet eine Impedanzfolge, die die seismische Reflexion festlegt. Reflexionsmuster können andererseits auch aus zufallsverteilten Impedanzen entstehen. Diese Verteilungen sind für den kristallinen Untergrund eher wahrscheinlich als durchgängige reflektierende Schichtgrenzen. Die Frage ist, wie sich Störungen in einem nicht geschichteten Untergrund mit statistisch verteilten Impedanzen seismisch abbilden. Die 3D Seismik bietet die Möglichkeit, diese Situation räumlich zu untersuchen. Durch die Varianzanalyse können Veränderungen in der räumlichen Kohärenz dargestellt und damit auch nicht reflektierende Störungszonen abgebildet werden. Diese Verfahren werden häufig in Sedimenten für die Kartierung von Störungen angewendet. Die hier verwendeten Untersuchungen beruhen auf seismischen 3D Messungen des Grundgebirges. Im kristallinen Untergrund der bayerischen Molasse können durch die Varianzanalyse einzelne Lineamente abgebildet werden, die mit Strukturen in der darüberliegenden

Karbonatplattform korrelieren. Diese geben Hinweise auf Störungen, die bis ins Grundgebirge reichen und dadurch wärmere Wasserreservoirs erschließen. Weitere Beispiele für die Anwendung der Varianzanalyse stammen aus dem Erzgebirge und dem Saar-Nahe Becken. Diese Beispiele unterscheiden sich in der Struktur und der Lithologie des Untergrundes und damit auch in den vorhandenen Kohärenzlängen der reflektierenden Elemente. Dies zeigt sich in den Amplituden und der Verteilung der Varianzwerte.

## **Geothermie S4-P.002**

### *Laboruntersuchungen zur Bestimmung verschiedener Einflussgrößen auf den elektrischen Widerstand und die Wärmeleitfähigkeit von Lockersedimenten*

**Firmbach, L.\*, Dietrich, P., Vienken, T.**

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Monitoring und Erkundungstechnologien (MET), Leipzig, Deutschland

Mit der Energiewende gewinnt die thermische Nutzung des Untergrundes als Energieträger sowie als Speicher zunehmend an Bedeutung. In Deutschland stieg in den letzten Jahren vorwiegend die Anzahl oberflächennaher Systeme zur Wärmenutzung. Mit den Prognosen eines zunehmenden Kühlungsbedarfs wird die Nutzung des oberflächennahen Untergrundes weiterhin steigen.

Eine genaue geologische und hydrogeologische Erkundung ist allerdings erst bei der Installation von Systemen ab einer Heizlast von 30 kW vorgeschrieben. Aber auch bei kleineren Anlagen ist eine bedarfsgerechte Planung unabdingbar, gerade bei hoher Anlagendichte wie beispielsweise im urbanen Raum. Aufgrund der entstehenden Kosten basieren die Ausführungen jedoch bislang zumeist auf Literaturwerten. Damit ergeben sich aber Fragen hinsichtlich optimierter Betriebskosten und dauerhafter Effizienz. Ebenso sind mit dem Entzug der Wärme aus dem Untergrund im Winter bzw. der Abgabe der Wärme im Sommer, Auswirkungen auf den Energiehaushalt im Boden und die Grundwassertemperatur verbunden. Eine Überwachung der Anlageneffizienz sowie der Auswirkungen auf den Untergrund ist jedoch ebenfalls erst für größere Anlagen vorgesehen.

Mit dem Mangel an effizienten Temperaturmonitoringansätzen zum Erfassen der Auswirkung der intensiven thermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes untersucht diese Studie die Geoelektrik als potentielle Methode. Basierend auf der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes stellt sie eine effektive Alternative zu typischen Temperaturmessungen dar.

Ziel dieser Studie ist es, durch die Ermittlung verschiedener weiterer Einflussfaktoren die exakte Relation zwischen elektrischem und thermischem Widerstand zu bestimmen. Dazu werden verschiedene Experimente auf Labormaßstab durchgeführt. Zunächst wird das elektrische Verhalten verschiedener homogener Sedimente mit bekannten Eigenschaften unter induziertem Wärmefluss untersucht, um den Einfluss der Sedimenteigenschaften zu bestimmen. Der Einfluss des Wassergehaltes sowie verschiedener gelöster Stoffe wird anschließend durch Tests mit verschiedenen festgesetzten Sättigungsbedingungen und unterschiedlich chemisch zusammengesetzten Grundwässern analysiert.

## **Geothermie S4-P.003**

### *Einfluss von Anisotropie und Heterogenität auf das Temperaturfeld in der Umgebung einer Erdwärmesonde*

**Dinsel, F.\*, Ballhause, T., Rücker, C., Börner, F.**

Angewandte Geowissenschaften, Angewandte Geophysik, TU-Berlin, Berlin, Deutschland

Die Leistung einer Erdwärmesonde ist stets abhängig von ihrer petrophysikalischen Umgebung. Damit sie optimal eingestellt werden kann, muss die zeitliche Änderung des Temperaturfeldes in Abhängigkeit von Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität bekannt sein.

Mit Hilfe des Programms Comsol Multiphysics werden Simulationen erstellt, um Aussagen über diese petrophysikalischen Parameter zu treffen, welche die Ausbreitung des Temperaturfeldes in der Umgebung einer Erdwärmesonde beeinflussen. Im Zuge dieser Fragestellung entstehen acht Modelle. Die Modelle sind mit einem konduktiven Wärmestrom versehen, der innerhalb der strukturell vereinfachten Erdwärmesonde an das turbulente Strömungsfeld des Wärmeträgerfluids gekoppelt wird. Die Geologie des modellierten

Erdreichs orientiert sich an Bohrprofilen des Berliner Senats. Daraus werden zunächst vier heterogene isotrope Modelle erstellt. Für jedes der vier Modelle werden die isotropen Gesteinseigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Dichte durch anisotrope Parametermodelle ersetzt, sodass jedes heterogene isotrope Modell mit dem zugehörigen homogenen anisotropen Modell verglichen werden kann. Die Auswertung zeigt, dass sich die heterogenen isotropen Modelle gut mit den homogenen anisotropen Modellen erklären lassen. Eine weitere Auffälligkeit kann in den von einander abweichenden Rechenzeiten zu jedem Modellpaar beobachtet werden.

## **Geothermie S4-P.004**

### *Reflection seismic experiments at the geothermal field Wayang Windu, Indonesia*

**Wiyono, W.<sup>\*1</sup>, Polom, U.<sup>1</sup>, Pramono, B.<sup>2</sup>, Krawczyk, C.M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Star Energy, Jakarta, Indonesien

Reflection seismic exploration in volcanic areas is still a scientific challenge and requires major efforts to develop imaging workflows capable of an economic utilization, e.g., for geothermal exploration. The SESaR (Seismic Exploration and Safety Risk study for decentral geothermal plants in Indonesia) project therefore tackles still not well resolved issues concerning wave propagation or energy absorption in areas covered by pyroclastic sediments using both active P-wave and S-wave seismics.

Based on the results of a small-scale, active seismic pre-site survey in the area of the Wayang Windu geothermal field in November 2012, an additional medium-scale active seismic experiment using P-waves was carried out in August 2013. The latter experiment was designed to investigate local changes of seismic subsurface response, to expand the knowledge about capabilities of the vibroseis method for seismic surveying in regions covered by pyroclastic material, and to achieve higher depth penetration. Thus, for the first time in the Wayang Windu geothermal area, a powerful, hydraulically driven seismic mini-vibrator device of 27 kN peak force (LIAG's mini-vibrator MHV2.7) was used. A 48-channel GEODE instrument of the Badan Geologi recorded the signal in a high-resolution configuration, with receiver group intervals of 5 m and source intervals of 10 m. Thereby, we acquired a nearly 600 m long profile.

In general, we observe the successful applicability of the vibroseis method for such a difficult seismic acquisition environment. Taking into account the local conditions at Wayang Windu, the method is superior to the common seismic explosive source techniques, both with respect to production rate as well as resolution and data quality. Source signal frequencies of 20-80 Hz are most efficient for the attempted depth penetration, even though influenced by the dry subsurface conditions during the experiment. Depth penetration ranges between 0.5-1 km.

Based on these new experimental data, processing workflows can be tested the first time for adapted imaging strategies. This will not only allow to focus on larger exploration depths covering the geothermal reservoir at the Wayang Windu power plant site itself, but also opens the possibility to transfer the lessons learned to other sites.

## **Geothermie S4-P.005**

### *Automatische Ereignisdetektion und Gefährdungsabschätzung unter SeisComP3 am Beispiel der Geothermieprojekte Insheim und Basel*

**Vasterling, M.<sup>\*1</sup>, Wegler, U.<sup>1</sup>, Bischoff, M.<sup>2</sup>, Dinske, C.<sup>3</sup>, Hoffmann, M.<sup>1</sup>, Becker, J.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, Deutschland, <sup>3</sup>Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland,

<sup>4</sup>gempa GmbH, Potsdam, Deutschland

Im vom BMU geförderten Verbundprojekt MAGS - Mikroseismische Aktivität Geothermischer Systeme wurden Konzepte zur Begrenzung der Mikroseismizität bei tiefer Geothermie erarbeitet. Bei hydraulischer Stimulation und im Betrieb von Geothermiekraftwerken können viele kleine seismische Ereignisse auftreten. Eine manuelle Auswertung hierfür ist in Echtzeit nicht realisierbar. Daher wurde in einem MAGS-Einzelprojekt an der BGR ein Detektor entwickelt, der auf Mustererkennung beruht. Dieser nutzt aus, dass Ereignisse, die vom gleichen Ort stammen, eine starke Ähnlichkeit der Wellenformen oder

Wellenformeneinhüllenden aufweisen. Die kontinuierlich einlaufenden Echtzeit-Daten werden mit bekannten Musterereignissen verglichen. Dabei wird für das ganze Netz spurweise die Kreuzkorrelation berechnet. Hohe Werte werden als mögliches Ereignis interpretiert und es erfolgt eine Detektion mit Herdzeit, Ort und Magnitude. Auch die Amplitudenverteilung zwischen den Stationen, bzw. Kanälen wird berücksichtigt. Bei unruhigen Seismometerstandorten im Stadtgebiet treten deutlich weniger Fehldetektionen als bei anderen Detektoren wie z.B. STA/LTA-Triggern auf.

Im Rahmen von MAGS begleiten wir wissenschaftlich die Geothermie-Kraftwerke in Insheim und im rund 4 km nördlich gelegenen Landau. Dazu wurde das Netz aus Betreiberstationen um mobile Online-Stationen erweitert. Anhand von Musterereignissen aus Insheim und Landau können die Detektionen automatisch einem der zwei Standorte zugeordnet werden. Für die Stimulation wurden Echtzeitmethoden entwickelt, die die Statistik der beobachteten Mikrobeben nutzen, um hieraus die Auftretenswahrscheinlichkeit für weitere Beben mit einer vorgegebenen kritischen Magnitude in einem definierten Zeitabschnitt vorauszuberechnen. Im Falle der Fortführung der Stimulation wird die Auftretenswahrscheinlichkeit mit Hilfe des Seismogenic Index berechnet. Eine alternative Auftretenswahrscheinlichkeit wird für den Fall des Shutin nach einer modifizierten Omori-Relation bestimmt. Dies ermöglicht es, die hydraulischen Parameter der Stimulation bei zu hoher seismischer Gefährdung anzupassen. Der Detektor und die Gefährdungsabschätzung sind als jeweils ein Modul in SeisComp3 implementiert. Die Funktionsweise wird an den Beispielen Insheim und Basel dargestellt.

## Geothermie S4-P.006

### *Modelling Damage Evolution during Stimulation of a Geothermal Reservoir*

**Abe, S.<sup>\*1</sup>, Karrech, A.<sup>2</sup>, Regenauer-Lieb, K.<sup>3</sup>, Deckert, H.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für geothermisches Ressourcenmanagement, Bingen, Deutschland, <sup>2</sup>School of Earth and Environment, University of Western Australia, Perth, Australien, <sup>3</sup>CSIRO Earth Science and Resource Engineering, Kensington, Australien

In many geothermal projects the generation of additional fluid pathways, for example by injecting fluid into the geothermal well under high pressure, is necessary to achieve the required rate of fluid flow. In order to do this safely and efficiently a good understanding of the interaction and feedback between permeability, porous flow and damage evolution is needed. In this study we are using numerical simulations of the coupled hydro-mechanical processes to investigate the relation between fluid injection and damage evolution in a simplified model of a geothermal reservoir. The numerical simulation is using a Finite Element model based on a damage evolution procedure developed by Karrech et al. 2014 [1].

The model geometry, material properties and stress conditions are based on the available data from the Soultz-sous-Forets geothermal site (France). The model is dominated by a steeply dipping fault zone in an otherwise homogeneous material. The geometry of the fault zone and its location relative to the well is simplified from Evans et al. 2005 [2]. The stress boundary conditions are taken from Cornet et al. 2007 [3]. Initial results show that the evolution of the damage, and therefore the permeability, in the model is strongly dependent on the material parameters, in particular the amount of pre-existing damage in fault zone.

[1] A.Karrech, C.Schrank, R.Freij-Ayoub and K.Regenauer-Lieb, 2014, A multi-scaling approach to predict hydraulic damage of poromaterials, Int. J. Mech. Sci., v. 78, p. 1-7

[2] K.F.Evans, A.Genter and J. Sausse, 2005, Permeability creation and damage due to massive fluid injections into granite at 3.5 km at Soultz: 1. Borehole observations, J. Geophys. Res., v. 110, B04203

[3] F.H. Cornet, Th. Berard and S. Bourouis, 2007, How close to failure is a granite rock mass at a 5km depth?, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci., v. 44, p. 47-66



## Geothermie S4-P.007

### *Eingrenzung der Rissausbreitung auf Basis von Temperaturmessungen im GeneSys-Projekt* **Rebscher, D.\*, Pechan, E., Tischner, T.**

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, GeoZentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Das Projekt GeneSys (GeneSys: Generierte Geothermische Energiesysteme ) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover dient der Demonstration der Nutzung tiefer geothermischer Energien aus hydraulisch vergleichsweise dichten Sedimentschichten mittels eines Einbohrlochkonzepts. Die im Norden Hannovers Ende 2009 abgeteufte Bohrung Groß Buchholz GT1 soll die Wärmeversorgung der Gebäude des GEOZENTRUMs Hannover abdecken. Die Endteufe der Bohrung liegt im Unteren Buntsandstein bei etwa 3900 m. Der tiefere Bereich der Bohrung wurde über ca. 700 m mit einer Abweichung von etwa 30° gegenüber der Vertikalen abgeteuft. Die angetroffenen Sedimentgesteine des Mittleren Buntsandsteins, mit relativ geringen Porositäten von zumeist weniger als 5 % und geringen Permeabilitäten im Bereich von 10-16 mD bis 10-18 mD, sind repräsentativ für diese Formationen in weiten Bereichen des Norddeutschen Beckens. Durch die hydraulische Stimulation mit etwa 20 000 m<sup>3</sup> reinem Frischwasser wurde im Jahr 2011 erfolgreich ein großflächiger Riss erzeugt. Der Zugang zur Formation erfolgte über eine Perforation in der Verrohrung, im Tiefenbereich 3703 m bis 3709 m. Über die Charakteristika dieses künstlichen Risses ist trotz des Einsatzes eines breiten Monitoringprogrammes, welches sich u.a. auf ein seismisches Netz sowie GPS- bzw. INSAR-Daten stützt, wenig bekannt. Aus Abschätzungen, basierend auf hydraulischen Eigenschaften und den Randwerten der Stimulation, ergibt sich eine unerwartet große Rissfläche von bis zu ca. 1 km<sup>2</sup>. Genauere Informationen zur Rissgeometrie sind jedoch wissenschaftlich interessant und für die Umsetzung eines Nutzungskonzepts wichtig. Speziell die vertikale Rissausbreitung ist von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die hangenden Salzlagen des Rötalinars. Ein Konzept, welches auf den gemessenen Temperaturänderungen im Bohrloch beruht, soll diese Wissenslücke schließen helfen.

## Geothermie S4-P.008

### *Reprocessing and depth migration of seismic reflection data from a geothermal field in Southern Tuscany*

**Dutsch, C.\*, Riedel, M., Alexandrakis, C., Buske, S.**

Institute of Geophysics and Geoinformatics, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

The volcanic Monte Amiata region lies in the hinterland of the Northern Apennines in Southern Tuscany, Italy. Due to a remarkably high heat flow of generally 50 to 100 mW/m<sup>2</sup> and up to a maximum of 600 mW/m<sup>2</sup>, the area is one of the most important geothermal fields in Italy. This is attributed to a Pliocene pluton emplacement at a depth of approximately 6 to 7 km, which is only partially crystallised. Before the pluton emplacement, the area experienced several compressional and extensional stages of development, which are responsible for a rather complex geologic structure. In 1995, Enel Green Power commissioned several geophysical investigations to get a more detailed picture of the geological relationships in the subsurface. This study included a reflection seismic survey near the Monte Amiata volcano. In the current study, we reprocess and migrate the resulting two seismic lines to enhance the former results. For this purpose, accurate velocity models are required for the seismic lines. These models are calculated in several steps. First, a 1D velocity model is calculated from Vertical Seismic Profile (VSP) data obtained at a nearby borehole. Next, two individual 2D models of the near-surface velocities are determined from first arrival traveltimes tomography. The tomography models extend down to approximately 1 km below the surface. Finally, the 1D VSP velocity model and 2D tomography models are merged to produce a unique velocity model for each line. Subsequently, the two profiles are migrated using the new velocity models and Kirchhoff prestack depth migration. The depth-migrated profiles are compared to the previously published time-migrated results.

## Geothermie S4-P.009

*TEM and MT Surface Exploration at the Ngozi geothermal prospect, Tanzania.*

**Ochmann, N.<sup>1</sup>, Garofalo, K.<sup>1</sup>, Chiragwile, S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>GST, Dodoma, Tansania, Vereinigte Republik

Geothermal surface exploration in Mbeya area, Tanzania, was carried out within the framework of the GEOTHERM technical cooperation programme. The GEOTHERM programme was implemented by the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) on behalf of the Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) with the objective to promote the use of geothermal energy in partner countries. The Tanzanian cooperation partners are the Ministry of Energy and Minerals, the Geological Survey of Tanzania and Tanesco, the National Electricity Supplier.

The area of investigation belongs to the Rungwe Volcanic Province near Mbeya which is located at the intersection between the western and eastern branches of the East African Rift System (EARS), forming a triple junction. From geochemical and isotope hydrological results the distinction between two main geothermal systems proposed by earlier investigators was confirmed and refined (i) Northern system (Songwe and other hot springs related to Ngozi volcano) and (ii) Southern system (hot springs related to Rungwe & Kiejo volcanoes).

The calculated reservoir temperature for the Northern system is above 200°C (i.e. high-enthalpy) whereas the Southern system is significantly below 200°C (medium-enthalpy), therefore detailed exploration including geophysical surveys focused on the Northern system.

Geophysical surveys included 30 magnetotelluric soundings (MT) and 50 transient electromagnetic soundings (TEM). A joint 1D inversion of MT and TEM data provided evidence of low resistivity zones typical for geothermal systems. The results at shallow depth (<10 Ohmm) might be interpreted as clay mineral alteration zone. A conductive structure which extends to great depth is seen as the reservoir of this geothermal system.

This observation is supported by a magnetic low in the same area indicating demagnetization by alteration of the magnetic iron oxides within the originally magnetic volcanic rocks. Similar indications and resistivity structures in the subsurface are found at a number of high-enthalpy geothermal system in the EARS and had been proven as promising indications for a viable geothermal resource. BGR emphasized to increase the number of TEM/MT-soundings to achieve denser resistivity information. On this basis it would be justified to suggest a site for an exploration well.

# AR Archäogeophysik

## Archäogeophysik AR-1.001

*Durchführung und Auswertung von geophysikalischen Messungen auf der archäologischen Fundstelle Elusa (Israel)*

**Pickartz, N.<sup>\*1</sup>, Tezkan, B.<sup>1</sup>, Heinzelmann, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland, <sup>2</sup>Archäologisches Institut, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Die nabatäische Stadt Elusa wurde im 3. Jh. BCE als Karawanserei der Weihrauchstraße von Petra nach Gaza gegründet und entwickelte sich im Verlauf der Kaiserzeit zum größten städtischen Zentrum des Negev mit eigenem Theater. Eine zweite Blütephase erlebte Elusa in frühbyzantinischer Zeit, wurde Bischofssitz und mit zahlreichen Kirchen ausgestattet. Vermutlich im Verlauf des 7. Jh. CE wurde die Stadt aufgegeben. Seit 2005 gehört Elusa zum Unesco-Kulturerbe "Weihrauchstraße - Wüstenstädte des Negev". Doch trotz der großen Bedeutung der Stadt ist abgesehen von punktuellen Ausgrabungen bislang wenig über ihre städtebauliche Gestalt und Entwicklung bekannt.

Während einer zweiwöchigen Messkampagne im April 2013 wurden 7 ha der ca. 60 ha umfassenden Siedlungsfläche mit Messungen des magnetischen Totalsfelds kartiert. Dazu wurde das Cäsiumdampfmagnetometer G-858 von Geometrics Inc. mit dem nicht-magnetischen Messwagen des Archäologischen Instituts der Universität zu Köln verwendet. Bei einer Messrate von 0,1 s haben die Sensoren eine Genauigkeit von 0,05 nT. Das Messgebiet wurde bidirektional mit einem Spurabstand von 0,25 m abgegangen. Innerhalb des kartierten Bereichs wurden Teilflächen in Gradientenkonfiguration, mit einer Basisstation und mit einem Bodenradar untersucht. Hierfür wurde das SIR-3000 von Geophysical Survey Systems, Inc. mit einer 400 MHz Antenne benutzt.

In den Graustufendarstellung der Magnetikdaten treten typische Störungen [1, 2] auf, die die archäologische Interpretation erschweren. Dies ist ein *subgrid shift*, der sich auszeichnet durch unterschiedliche Grautöne der einzelnen Messgrids und bei Messungen ohne Basisstation oder Gradiometer ausgeprägter ist. Des Weiteren tritt ein *line shift*, als unterschiedliche Grautöne benachbarter Spuren aufgrund der unterschiedlichen Ausrichtung der Sensoren, auf. Weiterhin gibt es ein *displacement* der Messwerte durch die entgegengesetzte Laufrichtung benachbarter *lines*. Schließlich lassen sich Messwerte als *spikes* klassifizieren und sind auf oberflächennahe kleinräumige nicht-archäologische Störkörper zurückzuführen. Um die Messdaten von diesen Störungen zu bereinigen wurden verschiedenen Routinen in Matlab programmiert.

[1] Eder-Hinterleitner, A., et al. (1996), Restoring Magnetic Anomalies, *Archaeological Prospection*, 3, 185-97.

[2] Ciminale, M., et al. (2001), Aspects of Magnetic Data Processing, *Archaeological Prospection*, 8, 239-46.

## Archäogeophysik AR-1.002

*Untersuchung der geophysikalischen Detektierbarkeit von Torfhäusern auf Island*

**Wunderlich, T.<sup>\*1</sup>, Wilken, D.<sup>1</sup>, Andersen, J.<sup>1</sup>, Rabbel, W.<sup>1</sup>, Zori, D.<sup>2</sup>, Kalmring, S.<sup>3</sup>, Byock, J.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Geophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland,

<sup>2</sup>Center for Medieval and Renaissance Studies, University of California, Los Angeles, USA, <sup>3</sup>Zentrum für

Baltische und Skandinavische Archäologie, Schloss Gottorf, Schleswig, Deutschland, <sup>4</sup>The Scandinavian Section, University of California, Los Angeles, USA

Bis heute wurden wenige archäo-geophysikalische Prospektionen auf Island durchgeführt. Die wenigen publizierten nutzen hauptsächlich Geomagnetik, Widerstandsmessungen und GPR (Ground Penetrating Radar). Probleme entstehen zum Einen durch das anstehende vulkanische Gestein mit hohen magnetischen Suszeptibilitäten, das geomagnetische Messungen stark beeinflusst. Zum Anderen bestehen die archäologischen Objekte auf Island hauptsächlich aus Erde und Torf mit einzelnen Steinen, deren physikalische Eigenschaften einen geringen Kontrast mit der Umgebung (Erde und Torf) aufweisen. Im Rahmen des Schwerpunktprogramms 1630 ("Häfen von der Römischen Kaiserzeit bis zum Mittelalter") wurden auf einem oberflächlich sichtbaren Torfhaus mehrere geophysikalische Methoden auf ihre Eignung

zur Detektierbarkeit des Hauses getestet. Nach einer großflächigen geomagnetischen Prospektion wurden GPR-, EMI- (Elektromagnetische Induktion) und Seismikmessungen durchgeführt. Außerdem wurde auf zwei Profilen über dem Haus die elektrische Widerstands-Tiefenverteilung mit ERT (Electrical Resistivity Tomography) gemessen.

Die Ergebnisse zeigen in der Magnetik eine Anhäufung von positiven Anomalien im Bereich des Hauses, die auch mit der Inphase-Komponente (abhängig von der magnetischen Suszeptibilität) der EMI-Messungen korrelieren. Sie können als Steine interpretiert werden. Das klarste Bild der Steinsetzung entlang der Innenseiten der Torfwände zeigen die Radar-Ergebnisse in einer Tiefe von 20-35 cm. Im Gegensatz zu den bisher genannten Ergebnissen kartieren die Leitfähigkeitskomponente der EMI-Messungen und die ERT-Messungen die Torfwände und nicht die Steine. Sie zeigen sich als Anomalien erhöhten elektrischen Widerstandes, die auf eine höhere Porosität des Materials hindeuten. Die Seismik wurde nicht auf klassische Art und Weise gemessen, sondern es wurde ein Quell-Empfängerpaar in einem Meter Abstand zueinander auf einem Grid mit halbem Meter Abstand über die Fläche bewegt. Aus den flächenhaft kartierten Daten wurden dann Frequenzspektren berechnet und diese flächenhaft in bestimmten Frequenzbereichen dargestellt. Entlang der Wände des Hauses tritt eine Verschiebung der Resonanzfrequenz zu niedrigeren Frequenzen hin auf.

Die Studie zeigt, dass Torfhäuser mit niedrigem Kontrast zur Umgebung durch eine Methodenkombination gut kartiert werden können. Die beste Methode zur Kartierung von Steinlineamenten ist dabei GPR, währenddessen die elektrischen Verfahren die Torfwände selber kartieren.

## AR Archäogeophysik Poster

### Archäogeophysik AR-P.001

#### *Vergleichende Untersuchung der Messgenauigkeit von Cäsium-, Overhauser- und Fluxgate-Magnetometern unter Feldbedingungen*

**Fediuk, A.\*, Erkul, E., Wunderlich, T., Rabbel, W.**

Institut für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland

Wir stellen eine vergleichende Studie vor, in der die Messgenauigkeit von verschiedenen Magnetometern unter Feldbedingungen untersucht wird. Dazu wurden Langzeitregistrierungen und Wiederholungsmessungen im Gelände mit einem Cäsium-Magnetometer, einem Overhauser-Magnetometer sowie einem Fluxgate-Magnetometer durchgeführt. Es wurden sowohl die Sensoren als auch der Einfluss des Gesamtsystems (Geräteträger und mobile Registriereinheiten) untersucht. Die Reproduzierbarkeit der Messwerte im Gelände wurde durch Wiederholungsmessungen entlang von Profilen mit unterschiedlichen Richtungen getestet. Der Einfluss der verwendeten Geräteträgerkonstruktionen auf die Sonden wurde durch Messungen an einem festen Ort und Veränderung der Geräteorientierung getestet. Durch Neigungstests wurden jene Effekte berücksichtigt, die auftreten, wenn die Magnetometer in der Spur oder quer zur Spur ausgelenkt werden.

Die Gradienten Messwerte der verwendeten Fluxgate-, Cäsium- und Overhauser Sonden zeigten Standardabweichungen von 0.15 nT/m, 0.03 nT/m und 0.3 nT/m. Trotz Unebenheiten im Gelände zeigten das Cäsium-Magnetometer und sein Geräteträger die beste Reproduzierbarkeit bei Profilmessungen (3% Abweichung). Die Overhauser- und Fluxgate- Magnetometer lagen bei 15 %. Die durchgeführten Flächenmessungen zeigten, dass das Fluxgate-Magnetometer die Signalformen eng beieinander liegender Anomalien räumlich besser auflöst als das Cäsium-Magnetometer, obgleich dies eine höhere Auflösung hat. Engabständigere Profilmessungen mit dem Cäsium- und auch dem Overhauser Magnetometer können die Ergebnisse nicht wesentlich verbessern.

Beim Fluxgate- und Overhauser-Magnetometer konnte der Einfluss von Wagenkonstruktion und Installation in Abhängigkeit der Profilrichtung in Form einer 360°- periodischen azimutalen Anomalie ausgemacht werden, die je nach Bauart  $\pm 1.5$  bis  $\pm 6$  nT/m betragen. Die Gradienten des Overhauser- und Cäsium-Magnetometers ändern sich bei Neigung linear mit der Auslenkung der Sonden um ca. 0.5 nT/m auf 1°. Dies ist größtenteils durch geometrische Effekte zu erklären.

## Archäogeophysik AR-P.002

### *Geophysikalische Prospektion eines eisenzeitlichen Gräberfeldes bei Nonnweiler, Saarland*

**Gleser, R.<sup>1</sup>, Schmidt, V.\*<sup>2</sup>, Fritsch, T.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Historisches Seminar, Abt. für Ur- und Frühgeschichtliche Archäologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>3</sup>Forschungsprojekt "Keltischer Ringwall Otzenhausen", Terrex gGmbH, St. Wendel, Deutschland

Bei der Gemeinde Nonnweiler im nördlichen Saarland sind Gräberfelder der Eisenzeit schon länger bekannt. Die Gräber gehören in das Einzugsgebiet des "Hunnenrings", einer 3km entfernten Ringwallanlage des keltischen Stammes der Treverer. Zum Wiederauffinden von bereits Anfang des 20. Jh. entdeckten Gräbern wurden als Vorarbeiten zu geplanten Grabungen geomagnetische und GPR-Messungen auf einer Fläche von etwa 6000 qm durchgeführt. Direkt angrenzend an das Messfeld befinden sich ehemalige Erzgruben, so dass recht starke lithologisch bedingte magnetische Anomalien zu erwarten waren.

Der Vertikalgradient des magnetischen Totalfeldes erreicht Werte von bis zu 130 nT/m, wobei die Ursache der stärksten Anomalien wahrscheinlich sehr oberflächennahe Metallteile sind, was in einem Fall auch durch eine Grabung nachgewiesen wurde. Weiterhin sind auf der Fläche deutliche lineare Anomalien bis 25 nT/m sichtbar, welche vermutlich lithologischen Ursprungs sind. Die magnetischen Anomalien, welche nachweislich durch Gräber verursacht wurden, erreichten Werte bis 30 nT/m und heben sich damit nicht deutlich im Magnetogramm ab. Als mögliches Unterscheidungsmerkmal könnte dienen, dass letztere Anomalien nur ein Maximum ohne benachbartes Minimum aufweisen. Der magnetische Störkörper besteht wahrscheinlich aus dem in die Grabgruben gefüllten Bodenmaterial, welches etwa eine 5fach höhere magnetische Suszeptibilität als das darunter anstehende Gestein hat.

GPR-Daten wurden mit einer 900-MHz-Antenne gewonnen und zeigen deutliche Reflexionen und Diffraktionen bis zu 30 ns Zweiweglaufzeit, was einer Tiefe von etwa 1,5 m entspricht. Im Radargramm sind zahlreiche um etwa 10° einfallende Reflektoren zu erkennen, welche aber nicht durchgehend verfolgt werden können. Die Grabstätten scheinen nicht durch eindeutige Reflexions- oder Dämpfungsmuster abgebildet zu werden. Nach Korrelation mit den Grabungsergebnissen kann nur gefolgert werden, dass an Grabstellen Reflektoren unterbrochen werden. Allerdings weisen die Reflektoren auch natürliche Diskontinuitäten auf, weshalb GPR-Daten in diesem Umfeld nur eingeschränkte Aussagekraft haben. Durch weitere Untersuchungen soll geprüft werden, ob aus den geophysikalischen Daten eine noch genauere Detektion der archäologischen Stätten an diesem spezifischen Standort erreicht werden kann.

## Archäogeophysik AR-P.003

### *Archaeo-geophysical studies at neolithic to early medieval settlements in Paschkowitz/Mügeln (Saxony)*

**Schwerdtle, S.\*, Schleiffer, F.\*, Flechsig, C., Schmidt, A.**

Institut für Geophysik und Geologie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland

One of the largest recent excavations of the Archaeological Heritage Office of Saxony was achieved from May 2011 until August 2012 nearby Mügeln, Northern Saxony. During the construction of a bypass road, in total 16 archaeological sites were found covering an area of 9.6ha. Numerous traces of settlements ranging from the early Neolithic to the early middle ages were found, including rubbish pits, naves and tools

A geophysical survey was conducted in an area of 60x40m adjacent to one of the excavation sites. The overall purpose of this survey was to determine whether traces of settlement can be found with non-destructive methods. Considering the archaeological findings the contrast of petrophysical parameters was expected to be low, therefore a multi-methodical approach consisting of a combination of geomagnetic and electrical resistivity tomography measurements was chosen. For the geomagnetic survey 40 profiles up to a length of 60m and 10 transverse profiles up to 40m, all of them set up with intervals of 1m, were measured with data spacing of approximately 40cm (2 dates/second in walking modus).

The data of the electrical resistivity tomography consists of three 2D-profiles with a length of 62m and a distance of 5m from each other. In total 125 electrodes were used with electrode spacing of 0.5m. First results of electrical resistivity tomography data show strong indications for remains of naves in the survey area.

# BL Bohrlochgeophysik

## Bohrlochgeophysik BL-1.001

### *Hochauflösende VSP-Testmessung in der KTB-Vorbohrung*

**Krauß, F.\*, Giese, R., Kück, J., Töpfer, M., Groh, M., Krüger, K., Fritsch, K., Jurczyk, A.**

Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Wissenschaftliches Bohren, Potsdam, Deutschland

Im September 2013 wurde eine seismische Testmessung in der Vorbohrung des KTB-Tiefenlabors in Windischeschenbach (Oberpfalz, Bayern) mit dem Ziel durchgeführt, die Einsatzfähigkeit einer am GFZ für die Tunnelvorauserkundung entwickelten Vibrationsquelle für die Erkundung des Umfeldes von Bohrungen zu untersuchen. Die seismische Quelle besteht aus zwei synchronisierten magnetostriktiven Aktuatoren, die an einem Fahrzeug vom Typ Gator (John Deere) installiert und pneumatisch an den Untergrund angekoppelt werden. Bei der durchgeführten Messung handelte es sich um eine VSP (Vertical Seismic Profiling)-Bohrlochmessung. Dabei wird das von einer ortsfesten Quelle an der Oberfläche angeregte seismische Wellenfeld von Empfängern in der Bohrung registriert. Die Empfänger werden in der Bohrung versetzt, um eine tiefenabhängige Aufzeichnung der seismischen Wellen zu ermöglichen. Als Bohrlochempänger wurde beim Test an der KTB eine Geofonkette vom Typ Slimwave der Fa. Sercel bestehend aus 17 Dreikomponenten-Geofonen mit einem Abstand von jeweils 10 m eingesetzt. Im Rahmen der VSP-Messung wurde bis in eine Teufe von 500 m mit einem Geofonpunktabstand von 1 m und zwischen 500 m und 1000 m Teufe mit einem Abstand von 10 m gemessen. Die Quelle befand sich in einem Abstand von ca. 9 m zu der Bohrung. Als Quellsignal wurde ein linearer Sweep im Frequenzbereich von 60 Hz bis 1000 Hz mit einer Länge von 31 s verwendet. Für die Regelung und Synchronisierung der Aktuatoren wurden die Signale von in den Ankopplungstempel integrierten Beschleunigungssensoren genutzt. Um das Signal-zu-Rausch-Verhältnis durch Vertikalstapelung zu verbessern, wurde bis 500 m Tiefe drei bis fünf und für den Tiefenbereich von 500 m bis 1000 m zehn Mal pro Messauslage angeregt. Nach Korrelation und Stapelung der Signale sind direkte Welleneinsätze bis 1000 m Teufe erkennbar. Eine erste Betrachtung der Frequenzspektren dieser Wellen zeigt, dass bis in eine Teufe von 500 m Frequenzen von bis zu 400 Hz registriert wurden. Als nächste Datenbearbeitungsschritte folgen die Multiplenunterdrückung und die Trennung des abwärts- und aufwärtslaufenden Wellenfeldes. Zur Einschätzung des Potentials der Vibrationsquelle werden die Daten mit einem weiteren Datensatz aus der KTB-Vorbohrung verglichen, der unter Verwendung derselben Geofonkette mit einem Vibrator vom Typ MHV03 im Jahr 2010 gemessenen worden ist.

## Bohrlochgeophysik BL-1.002

### *Fractal Dimension of Pore Space Geometry of a Tertiary Sandstone Formation*

**Zhang, Z.\*, Weller, A.**

Institut für Geophysik, Technische Universität Clausthal, Clausthal, Deutschland

The geometry of pore structure of reservoir rock is described by the shape, size, distribution and connection of pores and pore throats of rocks. Pore space properties are important for the description and characterization of fluid storage and transport in reservoir rocks. The fractal dimension  $D$  of a straight line is equal one, but for a tortuous line it becomes larger than one. In a similar way, the fractal dimension of a smooth surface is equal two. A rough surface is described by a fractal dimension  $D > 2$ . A uniform pore volume distribution corresponds to a fractal dimension of three, but a variation in the pore volume distribution results in a fractal dimension  $D < 3$ . We used the fractal concept to describe the geometrical structure of the pores of 24 samples from a Tertiary sandstone formation in China.

The fractal behavior of pore volume distribution was investigated by capillary pressure curves and nuclear magnetic resonance (NMR). Additionally, the fractal dimension of the pore surface was determined based on data of the specific surface area per unit pore volume ( $S_{por}$ ).

The fractal dimensions derived from all methods vary between 2 and 3 for all sandstone samples investigated in our study. The comparison of fractal dimensions determined by different methods indicates a clear differentiation into 'surface dimension' and 'volume dimension'. The fractal dimension resulting from

longer transversal NMR relaxation times and lower capillary pressure reflects the volume dimension of larger pores. The fractal dimension derived from short NMR relaxation times is similar to the fractal dimension of the specific internal surface. The surface dimension increases with rising specific internal surface.

## **Bohrlochgeophysik BL-1.003**

### *Bestimmung der Magnetisierungsrichtung aus dreikomponentigen Magnetfeldmessungen in tiefen Bohrungen*

**Ehmann, S.<sup>\*1</sup>, Hördt, A.<sup>1</sup>, Virgil, C.<sup>1</sup>, Leven, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland,

<sup>2</sup>Institut für Geophysik, Universität Göttingen, Göttingen, Deutschland

Die Bestimmung der Deklination der Magnetisierung bei wissenschaftlichen Bohrungen ist dadurch erschwert, dass Bohrkernproben meist nur unorientiert entnommen werden können, weshalb nur die Inklination der Magnetisierung an Bohrkernproben gemessen werden kann. Wir zeigen am Beispiel von Messungen, die wir mit dem Göttinger Bohrlochmagnetometer während IODP Expedition 330 zu den Louisville Seamounts durchgeführt haben, wie sich aus vektoriellen Magnetfelddaten die Magnetisierung durchbohrter Schichten und insbesondere deren Deklination bestimmen lässt.

Hierfür berechnen wir unter Annahme horizontaler Schichten aus den Magnetfelddaten ein erstes Magnetisierungsmodell, das wir als die gemessene scheinbare Magnetisierung des Untergrundes definieren. Mit einer von uns entwickelten Näherung können wir angeben, wie die tatsächliche Magnetisierung einer Schicht mit beliebiger Neigung und beliebigem Azimut mit dieser gemessenen scheinbaren Magnetisierung verknüpft ist. Insbesondere zeigt sich hier, dass die getrennte Bestimmung insbesondere der Deklination der Magnetisierung und des Schichtazimut, sowie der Inklination der Magnetisierung und der Schichtneigung unter realistischen Messbedingungen stark erschwert ist.

Unter Berücksichtigung der an Bohrkernen gemessenen Inklination der Magnetisierung lässt sich nun eine Aussage darüber treffen, welche Schichtneigungen möglich sind, um die gemessene scheinbare Magnetisierung zu erklären. Mit Hilfe zusätzlicher Informationen über mögliche Schichtgeometrien aus Bildern der Bohrlochwand bestimmen wir schließlich am Beispiel einer ausgewählten Schicht aus den Magnetfeldmessungen die Inklination und auch insbesondere Deklination der Magnetisierung. Diese weisen eine große statistische Unsicherheit auf, stimmen aber mit aktuellen Modellen eines sich wenig oder nicht bewegenden Louisville Hotspots überein.

## **Bohrlochgeophysik BL-1.004**

### *3-Komponentige Magnetfeldmessung in der Bohrung Schotten/ Sichenhausen: Inversion und Ergebnisse*

**Neuhaus, M.<sup>\*1</sup>, Ehmann, S.<sup>1</sup>, Virgil, C.<sup>1</sup>, Hördt, A.<sup>1</sup>, Leven, M.<sup>2</sup>, Steveling, E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Technische Universität zu Braunschweig, Braunschweig, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geophysik, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Deutschland

Die Region des Hohen Vogelsberg gilt als das größte zusammenhängende vulkanische Gebiet Mitteleuropas und wird beherrscht von differenzierten Lagen erkalteter Glutlawinen, wobei deren obere 100 Meter durch Witterungseinflüsse alteriert wurden. Die Bohrung Schotten/Sichenhausen wurde durch diese Schichten abgeteuft und endet in einem später emporgestiegenen endogenen Lavadom. Da in dem Magnetisierungsvektor das Erdmagnetfeld zur Zeit der Bildung der durchbohrten Gesteinsformation gespeichert ist, lassen sich Verwitterungs- und Umlagerungsprozesse durch Ermittlung der remanenten Magnetisierung nachvollziehen. Des Weiteren wird durch den von oben nach unten verlaufenden Abkühlungsprozess des Lavadomes die historische Entwicklung des Magnetfeldes für die Dauer des Abkühlungsprozesses in der remanenten Magnetisierung der Formation gespeichert. Diese Informationen lassen sich nutzen, um das Modell der Entstehungsgeschichte des hohen Vogelsberges zu belegen und gegebenenfalls zu erweitern. Dabei ist es wichtig, die Orientierung des Magnetisierungsvektors im geographischen Koordinatensystem zu kennen. Dies ist im Regelfall nur mittels dreikomponentiger

Bohrlochgeomagnetik möglich, da bei anderen Verfahren, wie zum Beispiel der Ermittlung der Magnetisierung aus Bohrkernen, bei der die Kerne zufällig ausgerichtet gezogen werden, die Daten nicht orientiert sind.

Für die Datenerfassung nutzten wir das Göttinger Bohrlochmagnetometer. Zusätzlich wurden Oberflächendaten mittels eines Overhauser Magnetometers im Gradiometerbetrieb aufgenommen. Eine erste Interpretation der Messdaten mittels eines Schichtmodells zeigt innerhalb der ersten 100 Meter eine starke Variation der Magnetisierung, die mit zunehmender Teufe immer homogener wird. Des Weiteren deuten Vorzeichenwechsel in der vertikalen Magnetisierung auf eingefangene Reversals des langsam abgekühlten Lavadomes hin. Diese Ergebnisse stimmen mit der Entwicklung der Geologie des hohen Vogelsberg überein. Für eine weiterführende Interpretation wurde ein neuer dreidimensionaler Inversionsalgorithmus entwickelt, der sowohl die Oberflächen-, als auch die Bohrlochmagnetikdaten gemeinsam verwendet, um die räumliche Verteilung der Magnetisierung zu ermitteln.

## BL Bohrlochgeophysik Poster

### Bohrlochgeophysik BL-P.001

#### *Wellenfeldtrennung bei bohrlochakustischen Datensätzen*

**Hellmann, S.<sup>\*1</sup>, Geerits, T.W.<sup>2</sup>, Hellwig, O.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland, <sup>2</sup>Baker Hughes, Celle, Deutschland

In der Erdölindustrie wird mit Hilfe von akustischen Messungen versucht, ein Strukturabbild des bohrlochnahen Bereichs zu generieren. Wie in der Oberflächenseismik gibt es hierbei das Problem, dass unerwünschte, amplitudenstarke Wellenarten die eigentlichen Reflexionen überlagern. In der Bohrlochakustik handelt es sich dabei vor allem um geführte Wellen am Bohrloch, die das Wellenfeld mit ihren starken Amplituden dominieren und Reflexionen aus der Formation nahezu vollständig überdecken. Zu diesen meist dispersiven direkten Wellen zählen z.B. Stoneley-Wellen und Formations- bzw. Tool-Flexural-Moden. Im Gegensatz zur Oberflächenseismik beschränkt sich die Registrierung des Wellenfeldes im Bohrloch nur auf wenige Empfänger mit Offsets, die im Verhältnis zum Abstand zu den reflektierenden Strukturen extrem klein sind. Das erschwert die Wellenfeldtrennung gegenüber Datensätzen aus der Oberflächenseismik und erfordert deshalb leistungsfähige Algorithmen für die Aufbereitung der Daten vor der Migration.

Wir stellen eine Prozessing-Strategie vor, die die Seismogramme zunächst in Receiver- und Transmitter-Arrays sortiert, so dass auf- und abwärtslaufende direkte Wellen im Bohrloch voneinander getrennt werden. Dadurch können im jeweiligen Array zu den Bohrlochwellen gegenläufige Reflexionen leichter separiert werden. Dazu müssen die Wellenformen der direkten Moden an jedem Bohrlochempfänger geschätzt werden, um sie vom gesamten Wellenfeld zu subtrahieren. Die Schätzung lässt sich bei bekannten Dispersionseigenschaften als Kleinste-Quadrate-Problem formulieren, wobei sich die Dispersionskurven der amplitudenstarken direkten Wellenfeldanteile z.B. mittels Slowness-Time-Coherency (STC)-Analyse bestimmen lassen. Da diese Wellenfeldseparation durch die großen Amplitudenunterschiede zwischen Reflexionen und den zu unterdrückenden direkten Wellen in der Praxis keine vollständig zufriedenstellenden Ergebnisse liefert, kann ein Median-Filter die verbliebenen unerwünschten Wellenfeldanteile nochmals reduzieren. Die Residuen bestehen danach hauptsächlich aus den Reflexionen der Formation, die mit einer Prestack-Tiefenmigration zur Abbildung der geologischen Struktur in der Formation genutzt werden können.



## Bohrlochgeophysik BL-P.002

### *Neue bohrlochgeophysikalische Daten aus der INFLUINS Forschungsbohrung im Zentrum des Thüringer Beckens*

**Methe, P.\***, **Goepel, A.**, **Kukowski, N.**

Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland

Im Rahmen des Verbundprojektes INFLUINS (Integrierte Fluidodynamik in Sedimentbecken) wurde im Sommer 2013 eine 1179 m tiefe Forschungsbohrung abgeteuft. Die Bohrlokation liegt nördlich von Erfurt und somit zentral im Thüringer Becken am Kreuzungspunkt zweier reflexionsseismischer Profile. An dieser Stelle konnte eine nahezu vollständige Abfolge vom Keuper bis zur Basis Buntsandstein erbohrt werden. Die Bohrung wurde in drei Abschnitten niedergebracht, vermessen und ausgebaut. Die erste Bauphase wurde bis zum Top des Mittleren Muschelkalkes bei 313 m Teufe durchgeführt. Der zweite Abschnitt erfolgte durch den Mittleren- und Unteren Muschelkalk bis zu einer Teufe von 515 m und der dritte und letzte Abschnitt wurde bis zur Endteufe von 1179 m bis zur Basis Unterer Buntsandstein niedergebracht. Da die Bohrung nur in den Tiefenabschnitten von 285 m bis 420 m und von 520 m bis 914 m gekernt wurde, aber die bohrlochgeophysikalischen Messungen über die vollständige Teufe durchgeführt wurden, ist es möglich mit Hilfe der geophysikalischen Messungen die stratigraphischen Informationen aus der Bohrkernansprache, in die ungekernten Bereiche zu extrapolieren.

Die bohrlochgeophysikalischen Messungen erfolgten jeweils nach Bohrung eines Bauabschnittes am offenen Bohrloch. Mit Hilfe der Kalibermessung und Bohrlochabweichung wurde die Geometrie des Bohrlochs bestimmt. Darüber hinaus wurde Milieu, Gamma-Ray, Spektral Gamma-Ray, akustisches Bohrlochfernsehen, Sonic, Suszeptibilität, Dipmeter, Gamma-Gamma, Neutron-Neutron und das Dual Laterolog gemessen um Aussagen über die Formationseigenschaften der Gesteine zu treffen. Innerhalb der Salinarschichten lassen sich cm-dünne Tonlagen bohrlochgeophysikalisch auflösen. Damit wird es z.B. möglich sein, die jeweiligen physikalischen Eigenschaften dieser Wechsellagerungen genau aufzulösen und gegenüber zu stellen. Neben der Vermessung der Bohrlochwand wurden auch gesteinsphysikalische Parameter an den Bohrkernen mit einem Multi-Sensor Core Logger (MSCL) ermittelt. Mit diesem Gerät konnten Gesteinsdichte, p-Wellen Geschwindigkeit, elektrischer Widerstand und Suszeptibilität zum bestehenden bohrlochgeophysikalischen Datensatz ergänzt und verifiziert werden.

Entgegen der Vermutung, dass der Mittlere Muschelkalk und Mittlere Buntsandstein wie am Rand des Thüringer Beckens hier ein prominenter Grundwasserleiter ist, zeichnen sich diese Abfolgen durch recht geringe Porositäten und keinen makroskopisch erkennbaren Fluidtransport aus.

## Bohrlochgeophysik BL-P.003

### *NMR-Relaxation bei Teilsättigung unter Berücksichtigung von fast- und slow-diffusion*

**Costabel, S.<sup>1</sup>**, **Müller-Petke, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Abteilung 2 Grundwasser und Boden, Berlin, Deutschland, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, S5 Gesteinsphysik und Bohrlochgeophysik, Hannover, Deutschland

Mithilfe der Nuklear-Magnetischen Resonanz (NMR) lassen sich Porosität und hydraulische Leitfähigkeit von gesättigten porösen Materialien bestimmen. Letzteres ist möglich, weil die NMR-Abklingzeit bei Vollsättigung ein Maß für die mittlere Porengröße darstellt. Bei Teilsättigung ist ein Zusammenhang zwischen ungesättigter hydraulischer Leitfähigkeit und mittlerer Abklingzeit zwar unter bestimmten Bedingungen empirisch nachgewiesen (unmagnetisierbare Sande, niedrige Oberflächenrelaxivität, fast-diffusion Bedingung), im Allgemeinen jedoch ist diese Beziehung noch nicht vollständig verstanden. Um dieses Verständnis zu erlangen ist es notwendig, eine allgemeingültige Modellvorstellung zu entwickeln, die den Zusammenhang zwischen NMR-Abklingverhalten und Sättigungsgrad für beliebige poröse Materialien erklärt, d.h. unabhängig von deren Porengröße, Oberflächenrelaxivität und vorherrschendem Diffusionsregime.

Wir haben die klassischen analytischen Lösungsansätze für das NMR-Relaxationsphänomen in einfachen Porensystemen (schlitz-, zylinder- und kugelförmige Pore) um den Aspekt der Teilsättigung erweitert. Somit existieren Gleichungen, die den Zusammenhang zwischen Porengröße, Sättigungsgrad und NMR-Abklingzeit für einzelne teilgesättigte Poren beschreiben. Diese Gleichungen berücksichtigen beliebige

Oberflächenrelaxivitäten und Porengrößen, d.h. sie können für alle Diffusionsregime angewendet werden. Die Gültigkeit dieser analytischen Lösungen sowohl im fast-, wie auch im slow-diffusion-Regime zeigen wir mit Hilfe von verschiedenen Sandproben mit engem Kornspektrum. In Zukunft soll die Modellvorstellung weiterentwickelt werden um auch komplette Porengrößenverteilungen zu berücksichtigen.

## Bohrlochgeophysik BL-P.004

*Entwicklung einer Messzelle zur kombinierten Messung von SIP und NMR, Kapillardruck, sowie gesättigter und ungesättigter hydraulischer Leitfähigkeit*

**Costabel, S.<sup>\*1</sup>, Hupfer, S.<sup>2</sup>, Martin, T.<sup>1</sup>, Noell, U.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Abteilung 2 Grundwasser und Boden, Berlin, Deutschland, <sup>2</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland

Zur Entwicklung von quantifizierbaren Modellvorstellungen ist es nötig, geophysikalische Messgrößen in hydraulisch und hydrogeologisch wirksame Größen umzurechnen. Derartige Modellvorstellungen bilden die Grundlage für gesicherte hydrogeologische und/oder bodenphysikalische Interpretationen von geophysikalischen Felddaten. Dabei sind die Mess-, wie auch die Zielgrößen auf sehr komplexe Art und Weise mit den Struktureigenschaften des Porenraumes verknüpft. Um repräsentative Modell-Aussagen aus Labormessungen abzuleiten ist es erforderlich, systematische Fehler bei den Messungen zu unterbinden. Ursache dieser Fehler können z.B. das Umfüllen des Probenmaterials oder das Benutzen von Schwesterproben mit unbekannter Variabilität der Zielgrößen sein.

Wir haben daher eine Messzelle für Lockersedimente entwickelt, welche eine Kombination folgender Messungen ermöglicht: Spektral Induzierte Polarisation (SIP), Nuklear-Magnetische Resonanz (NMR), Kapillardruck (KD), gesättigte und ungesättigte hydraulische Leitfähigkeit ( $K_S$  und  $K_U$ ). Der zylinderförmige Aufbau (Höhe: 100 mm, Durchmesser: 65 mm) ist metallfrei gefertigt, um bei der NMR-Messung keine Verzerrung der Magnetfelder zu erzeugen. Die elektrische Ankopplung für die SIP-Messungen erfolgt elektrolytisch über sehr feinporige Materialien. Für den Spannungsabgriff am Probenmaterial werden wassergefüllte Keramikspitzen (Lufteintrittspunkt bei mind. 850 hPa) verwendet, die über einen Silberdraht an die Messapparatur angekoppelt sind. Die Stromeinspeisung in das Elektrolyt erfolgt über Plattenelektroden (Bronze, Edelstahl). Das Elektrolyt wiederum wird über feinporige Duran-Glasfilterplatten (Porengröße: 1 bis 1,6  $\mu\text{m}$ ) an das Probenmaterial angekoppelt, fixieren das Probenmaterial im Behälter und erlauben außerdem eine kontrollierte Entwässerung durch Anschluss einer einstellbaren Vakuumpumpe. Durch die unterdruckgesteuerte Entwässerung und Kontrolle des drainierenden Porenwassers kann die KD-Kurve ermittelt werden. Alternativ ist es möglich, durch die einseitige Öffnung des Probenbehälters und das Austauschen des SIP-Spannungsabgriffes mit Tensiometern, KD und  $K_U$  über die Verdunstungsmethode zu ermitteln. Werden die kleinporigen Keramikplatten durch grobporige ersetzt, lässt sich über die constant- oder falling-head-Methode auch  $K_S$  messen. Erste erfolgreiche Messungen mit Quarzsand-Pyrit-Mischungen unterschiedlicher Zusammensetzung, sowie mit verschiedenen natürlichen Bodenproben wurden durchgeführt.

# EM Elektromagnetik/ Georadar

## Elektromagnetik/ Georadar EM-1.001

*Ein Quantitativer Ansatz zur Überwachung eines CO<sub>2</sub>-Sequestrierungsstandortes mit elektromagnetischen Methoden in Quebec/Kanada*

**Bär, M.<sup>1</sup>, Giroux, B.<sup>2</sup>, Spitzer, K.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>2</sup>Institut national de la recherche scientifique, Centre Eau Terre Environnement, Québec, Kanada

Numerische Simulation elektromagnetischer Felder in beliebig geformten Leitern wird durch die Verfügbarkeit von unstrukturierten Finite-Elemente-Implementierungen ermöglicht. Die Transformation von geologischen Modellen in eine diskrete geometrische Form ist bei weitem kein Standardverfahren.

Wir demonstrieren die grundlegenden Schritte, die zur Erzeugung solcher Modellbeschreibungen notwendig sind. Bis jetzt wurden komplexe geologische Modelle durch elementare geometrische Formen vereinfacht. Wir generieren Körperdarstellungen dieser beliebig komplexen geologischen Modelle, welche durch Punktwolken oder einzelne Schichten repräsentiert werden.

Zu diesem Zweck verwenden wir zwei Ansätze für die Erzeugung von Körperdarstellungen auf der Basis von Punktwolken. Der erste Ansatz ist die Erzeugung einer Delaunaytriangulierung die sowohl konkave als auch konvexe Oberflächen berücksichtigt. Eine weitere Möglichkeit der Transformation von Punktwolken in eine geeignete Körperdarstellung ist es, ihre NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)-Darstellung zu verwenden. Das Ziel beider Verfahren ist es, die ursprüngliche geometrische Form des geologischen Modells zu erhalten. Mit diesen Körperdarstellungen werden Finite-Elemente-Modelle erstellt, die für Vorwärtsmodellierungen und Inverse Probleme verwendet werden, insbesondere für MT, TEM und DC-Anwendungen als auch für gravimetrische und magnetische Anwendungen.

Unsere zukünftige Arbeit zielt auf die Untersuchung eines CO<sub>2</sub>-Sequestrierungsstandortes in Bécancour, Quebec, Kanada ab. Wir untersuchen neue Ansätze zur Überwachung des Sequestrierungsprozesses durch den Einsatz von Bohrlochtransientelektromagnetik. Exakte geometrische Modelle sind eine Voraussetzung für die Planung von Feldmessungen.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-1.002

### *Untersuchung der Reflexionseigenschaften von PE-Rohren durch Modellierung der zeitabhängigen Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes*

**Naser, M.\*<sup>1</sup>, Junge, A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Detectino GmbH, Hildesheim, Deutschland, <sup>2</sup>Frankfurt University, Institute of Geosciences, Frankfurt am Main, Deutschland

Das Leitungsortungstestfeld der Uni Frankfurt ermöglicht die Untersuchung der Reflexionseigenschaften von luft- oder wassergefüllten PE-Leitungen in unterschiedlichen Böden und Verlegetiefen. Der Einfluss von Antennenpolarisation und Material oder Füllung der Leitungen auf die Detektierbarkeit mit GPR ist in verschiedenen Arbeiten untersucht und beschrieben worden. In diesem Beitrag werden die elektromagnetischen Prozesse an und in der Leitung betrachtet um dieses Verhalten besser zu verstehen.

Anhand von FD-Modellstudien wird die zeitabhängige Ausbreitung des elektromagnetischen Feldes innerhalb und im Umfeld der Leitung untersucht. Die daraus resultierenden Reflexionsmuster werden mit den Messdaten von unserem Testfeld verglichen.

Bei vielen quasi-monostatischen GPR-Anwendungen wird angenommen, dass nur die elektromagnetischen Wellen vom Empfänger aufgezeichnet werden, die im rechten Winkel auf einen Reflektor treffen und reflektiert werden. Unsere Untersuchungen zeigen, dass diese Annahme bei Leitungen aufgrund ihrer Geometrie und der komplexen Wellenwege nicht zutrifft. Daher muss für das Verständnis der Prozesse, der Reflexionskoeffizient abhängig vom Einfallswinkel und der Polarisationssebene des elektromagnetischen Feldes betrachtet werden.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-1.003

### *Potential of soil water content mapping using electromagnetic induction in a forested catchment*

**Altdorff, D.\*, van der Kruk, J., Huisman, J.A.**

Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland

Knowledge of spatial and temporal soil water content (SWC) variation is one of the key elements in land and water management and supports the prediction of climate-relevant processes. Nevertheless, reliable field-scale SWC information remains difficult to obtain. A potential way to obtain information about SWC variation is the indirect mapping of easily recordable physical variables, such as bulk electrical conductivity (ECa) measured with electromagnetic induction (EMI). However, ECa depends on a range of soil properties, including porosity, SWC, and pore water conductivity ( $\Sigma_w$ ). Therefore, it is not straightforward to derive SWC from EMI data, and results often show complex and site-specific relationships. The aim of this study is to evaluate the accuracy of soil water content measurements with EMI, and to understand how this accuracy is affected by spatial and temporal variability of other soil properties that also affect the EMI signal. To this end, four time-lapse EMI data sets were recorded within a period of one year with two integral investigation depths (80 cm and 160 cm) in a forested catchment with an area of ~ 27 ha. Independent information on SWC and porosity were provided by a wireless soil moisture sensor network with 110 measuring locations equipped with sensors at three depths (5, 20 and 50 cm). Straightforward linear regression between ECa and SWC yields an  $R^2$  of approximately 0.4. Minimizing the residuals of predicted vs. measured SWC from the corresponding EMI survey days using an Archie based model that considers spatial variation in soil porosity and saturation provides an  $R^2 > 0.6$  with an RMSE of ~4 vol %. However, all models required daily calibration, which limits the applicability of EMI for mapping and monitoring SWC in this particular catchment. Finally, we derived maps of  $\Sigma_w$  by assuming that the residuals between measured and estimated SWC using the Archie model are solely due to spatial variability of  $\Sigma_w$ . Interestingly, these maps were highly structured and showed similar repeating patterns in  $\Sigma_w$  for all survey days, although the mean  $\Sigma_w$  varied. This supports our notion that the accuracy of SWC mapping is limited by spatial and temporal variation in  $\Sigma_w$ . This study indicates that the accuracy of EMI to derive SWC may be limited at some test fields due to spatial and temporal variations in other soil properties besides SWC considerably affect ECa.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-1.004

### *First experience with a newly developed modular electromagnetic induction system for ground conductivity measurements*

**Mester, A.\*<sup>1</sup>, Zimmermann, E.<sup>1</sup>, van der Kruk, J.<sup>2</sup>, Vereecken, H.<sup>2</sup>, van Waasen, S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich, Systeme der Elektronik (ZEA-2), Jülich, Deutschland, <sup>2</sup>Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland

Electromagnetic induction (EMI) is a promising tool for fast ground conductivity mapping on the field-scale. In order to increase the resolution for a specific depth-region of interest, we developed a modular EMI system for coil separations of up to 1.6 m that enables for measuring multiple and flexible sensor configurations (coil separations and coil orientations) during a single survey. The measurement system consists of a laptop, a backpack with the measurement control and data acquisition system, and nine modular sensor boxes (i.e. receivers or transmitters) that are attached to a sledge-like construction. Each sensor configuration measures an apparent electrical conductivity (ECa) value, which is the conductivity of the soil that would be measured in the case of a homogeneous earth. These multiple ECa-values can be used to invert for electrical conductivity over depth where the resulting depth resolution depends on the number of sensors and their configuration. The prototype system has been employed for several experiments along single transects on well-known test sites. We used horizontal coplanar (HCP) coil orientations for one transmitter and eight receivers at sensor separations of 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, and 1.6 m. The results show that the system is capable of collecting ECa-data along a 160-m long transect. However, electromagnetic resistivity tomography (ERT) data at the beginning and the end of the transect were needed to calibrate the system and correct for drift effects in the ECa-data. The instrumental accuracy in terms of noise depends on the coil configuration, the measurement frequency, and the measuring time per point. Using a frequency of 15 kHz and a measuring time of 0.5 s, the instrumental accuracy is better than 1.0 mS/m for coil separations between 0.6 and 1.6 m and 1.3 mS/m for a coil separation of 0.4 m. However, the drift of the system during a five minute long measurement can reach the same order of magnitude and is currently not completely understood. The development of a robust calibration procedure and drift correction, as well as the improvement of the sensitivity of the system is subject of future studies.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-1.005

### *Large-Scale 3D Multi-Layer Electromagnetic Induction Data Inversion*

**von Hebel, C.\*<sup>1</sup>, Mester, A.<sup>2</sup>, Huisman, J.A.<sup>1</sup>, Rudolph, S.<sup>1</sup>, Vereecken, H.<sup>1</sup>, van der Kruk, J.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland, <sup>2</sup>Forschungszentrum Jülich, Systeme der Elektronik (ZEA-2), Jülich, Deutschland

Multi-coil electromagnetic induction (EMI) systems sense different depth levels and offer the potential to estimate the vertical subsurface electrical conductivity distribution with a high spatial resolution. However, due to the complicated and overlapping sensitivity functions of each coil configuration, it is not straightforward to characterize a layered subsurface. Moreover, EMI measurements are influenced by external conditions such as the operator, field set-up, cables or any other current conducting material close the system, such that the recorded value is shifted, which hinders a quantitative interpretation of the measured apparent electrical conductivities (ECa). Therefore, measured ECa need to be calibrated and inverted to obtain a reliable layered subsurface electrical model. The calibration is performed by a linear regression between predicted ECa, obtained from an electromagnetic (EM) forward model that numerically solves the Maxwell equations to predict ECa using inverted electrical resistivity tomography (ERT) data recorded at a small transect as input, and collocated measured EMI-ECa. The coil specific regression parameters are then used to calibrate the large-scale EMI data. Next, the calibrated multi-coil EMI data are re-gridded to a common grid, such that a one dimensional (1D) multi-layer conductivity inversion can be performed. To invert the quantitative ECa, we use a parallelized version of the shuffled complex evolution (SCE) optimization and minimize the misfit between the measured and modelled data obtained from the full-solution EM forward model using the L1-norm while assuming a horizontally layered earth. The obtained 1D-models at each grid node are stitched together to form a 3D subsurface volume. We applied this method to a data set obtained at an experimental field covering an area of 11400 m<sup>2</sup>. The smoothly changing lateral and vertical electrical conductivity model was validated with grain size distribution maps and two previously

measured 120 m long ERT transects. Overall, the subsurface model obtained with the quasi-3D EMI inversion and the independent ERT inversions showed similar subsurface structures. Differences in absolute electrical conductivity values within certain layers are probably due to the varying soil moisture content. These findings indicate that EMI can be successfully used to quantitatively characterize the lateral and vertical electrical conductivity structures at the field scale and beyond.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-2.001**

### *CSEM surveillance and monitoring concepts for enhanced oil recovery methods*

**Tietze, K.\*, Ritter, O., Platz, A., Weckmann, U.**

Helmholtz Centre Potsdam - GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland

Enhanced Oil Recovery (EOR) is a technique for increasing the amount of crude oil that can be extracted from an oil field. Following natural oil production and water injection (primary and secondary oil recovery), tertiary techniques like injection of CO<sub>2</sub>, surfactants, polymer, or a combination is used to enhance recovery of oil. With polymer flooding a water soluble polymer is injected into the oil-bearing formation to improve the displacement of the residual oil and thereby increase the oil recovery.

In an EOR pilot project Wintershall Holding GmbH, Kassel, is testing their newly developed biopolymer Schizophyllan in one of their oil fields. Mixture with the high saline formation water results in a polymer solution with much lower electrical resistivity than the oil within the reservoir. To advance and optimize EOR techniques it is essential to know the areal propagation and distribution of the injected fluids in the subsurface.

At GFZ Potsdam, we investigate the applicability of the controlled-source electromagnetic (CSEM) method to monitor the distribution of the polymers solution. Late 2012, we carried out a MT survey comprising 25 sites across the oil-field to obtain a 2D model of the regional scale resistivity structure. Based on these results and calibration with resistivity well-logs, we constructed a 3D resistivity model of the reservoir region for 3D CSEM forward simulation of different scenarios; main focus of the study was to test the sensitivity of various source-receiver configurations.

3D CSEM modelling results suggest that CSEM is sensitive to resistivity changes at reservoir depths, but the effect is difficult to resolve with surface measurements only. Resolution potential increases significantly, however, if sensors or transmitters can be placed in observation wells closer to the reservoir. In particular, observation of vertical electric field component  $E_z$  in shallow boreholes and/or use of novel source configurations consisting of vertical and horizontal dipoles appear promising.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-2.002**

### *1D Inversion and Interpretation of Time-Domain Marine Controlled Source Electromagnetic (CSEM) Data*

**Moghadas, D.\*, Engels, M., Schwalenberg, K.**

Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), B1.4 Marine Resource Exploration, Hannover, Deutschland

The marine controlled source electromagnetic (CSEM) method has been increasingly used for sub-seafloor gas hydrate exploration and investigation of the marine sub-seafloor. The possibility to retrieve accurately the sub-seafloor properties from CSEM data is obstructed by the appropriateness of the inverse modeling approaches. We consider a time-domain marine CSEM system including a bipolar electrical transmitting dipole located on the seafloor and electrical receiving dipoles at offsets between 100 m and 1000 m settled in-line with the source dipole. Marine CSEM data were collected offshore in deep and shallow waters for gas hydrate and shallow gas exploration. After processing of the data, we performed one-dimensional (1D) inversion taking into account several inversion schemes including OCCAM, Marquardt and Global-Local optimization. While OCCAM inversion generates smooth models, the Marquardt approach allows sharp boundaries. However, the final results rely mainly on the starting models. The Global-Local scenario may constitute a relevant alternative to the two methods mentioned above. We will apply these inversion techniques to marine time domain CSEM data, using both synthetic and real data. In addition, we illustrated

the sub-seafloor apparent electrical resistivity tensor through 3D numerical simulation of marine CSEM data with multiple-source array consisting of three transmitter bipoles. The invariants derived using apparent resistivity values were presented using elliptical illustrations. This simulation theoretically presents the interest of using multiple-source array for time-domain marine CSEM studies.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-2.003**

### *Transiente Elektromagnetik (TEM) Messungen zur Erkundung glazialer Stauchstrukturen bei Itzehoe, Schleswig Holstein*

**Stadlbauer, S.\***

Institut für Geophysik und Meteorologie - Universität zu Köln, Geophysik/ Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Im Rahmen der Zusammenarbeit des Landesamts für Natur und Umwelt in Schleswig Holstein mit dem Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) wurden im Herbst 2012 Sky TEM Messungen im Raum Wacken-Warringholz nördlich von Itzehoe durchgeführt. Dabei wurden auffällige Strukturen entdeckt, die auf glaziale Stauchungen hindeuten können: vertikal verlaufende Tonschichten, die durch den Vorstoß eines Gletscherrandes entstanden sind und die dortigen Grundwasserverhältnisse bestimmen. Um die Tiefenlagen dieser hydrologisch wichtigen Schichten zu ermitteln, wurden daraufhin Seismik-, sowie 2D Geoelektrikmessungen durchgeführt. Die Seismik ergab Aufschluss über die Schichtgrenzen im Bereich bis ca. 250 m Tiefe. Durch die geoelektrischen Messungen wurde die Feinstruktur der Widerstandsverteilung ermittelt. Diese lieferte Werte von 5-10  $\Omega\text{m}$  für die Tone und Werte größer 200  $\Omega\text{m}$  für die umgebenden Sande.

In Folge urbaner und messtechnischer Probleme kam es bei den Sky TEM Messungen zu größeren Datenlücken, die im Rahmen dieser Studie mit (Ground based-) TEM Daten gefüllt werden. Mit Hilfe der Modellierung synthetischer Transienten, die vorab anhand eines Modells der Sky TEM Ergebnisse berechnet wurden, konnte die optimale Feldanordnung von 50 m x 50 m für die Sende- und 20 m x 20 m für die Empfangsspule bestimmt werden.

Die Testmessung im Mai 2013 lieferte hierzu erste zufriedenstellende Ergebnisse über die Widerstandsverteilung und die jeweilige Tiefenlage der Tonschicht bis in Tiefen von 200 m. Durch weitere Messungen im Oktober 2013 wurden die Daten um insgesamt 43 Messlokalitäten in den Lücken ergänzt. Die bisherigen Ergebnisse lassen im Vergleich mit der Analyse von Bohrkernen und den Ergebnissen der anderen Messmethoden auf eine gute Übereinstimmung schließen.

Die weitere Auswertung der Messdaten erfolgt über die bekannten Inversionsmethoden zur 1D Inversion, sowie deren räumliche Verknüpfung zu einer quasi-3D-Abbildung des Untergrundes als Ergebnis der Spatially Constrained Inversion (SCI).

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-2.004**

### *Der Effekt der induzierten Polarisierung in der Transientenelektromagnetik*

**Seidel, M.\*, Tezkan, B.**

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Bei der Interpretation transient-elektromagnetischer Daten werden Polarisierungseffekte im Untergrund oft vernachlässigt, was bei einer etwaigen Polarisierbarkeit des Untergrundes die Interpretation von TEM Ergebnissen verfälschen kann. Die Auswirkungen dieser Effekte reichen von einem steileren Verlauf des Transienten bei mittleren und späten Zeiten bis hin zu einem oder gar mehreren Vorzeichenwechseln.

Basierend auf früheren Arbeiten von P. Weidelt und G. Schaumann wurde eine TEM 1D-Inversionsroutine unter Berücksichtigung von solchen IP Effekten entwickelt. Hierbei werden einer oder mehreren Schichten eine komplexe, frequenzabhängige Impedanz nach dem Cole-Cole-Relaxationsmodell zugeordnet, durch welche die Polarisierbarkeit der Schicht beschrieben werden kann.

Es wurden 1D-Modell- und Inversionsrechnungen für verschiedene Schichtfälle durchgeführt, um die Auswirkungen der Cole-Cole Parameter, der Schichtmächtigkeit und der Tiefenlage der polarisierbaren Schicht sowie der Spulenkonfiguration etc. zu untersuchen. Die Ergebnisse der Routinen wurden mit den Ergebnissen von Kozhevnikov & Antonov (2008) verglichen.

Um die Inversionsergebnisse weitergehend zu überprüfen, wurde eine Testmessung über einer graphitisierten Störzone bei Rulle / Osnabrück durchgeführt, zu der bereits Daten geophysikalischer Messungen vorlagen und in denen Polarisierungseffekte zu erwarten waren. Als Messgerät hierfür wurde das TEM-FAST 48 der Firma Applied Electromagnetic Research (AEMR, Niederlande) eingesetzt.

Kozhevnikov, N.O. and E.Y. Antonov, 2008, Inversion of TEM data affected by fast-decaying induced polarization: Numerical simulation experiment with homogeneous halfspace, *Journal of Applied Geophysics* 66, 31-43

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-3.001**

*How to identify Antarctica's "Oldest Ice" with geophysical data?*

**Eisen, O.\***

Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Glaziologie, Bremerhaven, Deutschland

The International Partnership for Ice Core Sciences (IPICS) identified the retrieve of an "Oldest-Ice" ice core as one of the most important scientific challenges in ice core research for the near future. As the outcome of an "Oldest-Ice" workshop a general approach was recently suggested how to combine geophysical reconnaissance, numerical ice-flow modelling and sample drilling to identify the most promising sites where about 1.5 Ma old ice could most likely be found (Fischer et al., CP, 2013). The most critical unknown parameter is the geothermal heat flow underneath the ice, followed by bed topography and integrity of internal layering. Here, we propose the combined application of geophysical methods in conjunction with existing ice-core data to improve the knowledge on physical properties of the ice and the underlying strata. It builds on (i) conventional application of potential field geophysics (gravimetry and magnetics) to estimate subglacial geology; (ii) radar internal architecture to determine layer integrity and bedrock topography; (iii) combination of ice-core profiles with radar to determine the origin - and thus confirm isochronity and age - of internal radar layers, complemented by layer attributes; (iv) extrapolation of ice-core impurities and the related attenuation of radar waves in space along internal layers; and (v) radar and seismic wave attenuation analyses to determine the englacial temperature distribution. This approach has the potential to improve our capabilities to estimate the spatial variation of geothermal heat flux and provide spatially distributed age-depth constraints for ice-flow models.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-3.002**

*Time-lapse GPR imaging of preferential flow in the Attert catchment, Luxemburg.*

**Allroggen, N.,\* Tronicke, J.**

Universität Potsdam, Angewandte Geophysik, Potsdam, Deutschland

Infiltration experiments are standard hydrological methods to investigate flow phenomena in the vadose zone. At the plot or hillslope scale, they usually rely on simulating natural precipitation across a defined area over a defined time. The impact of such experiments is typically analyzed by invasive point measurements. More recently, there is also growing interest to image the resulting subsurface flow patterns using geophysical methods.

In this study, we evaluate time-lapse ground penetrating radar (GPR) reflection imaging to investigate flow patterns resulting from an infiltration experiment in the Attert catchment. We conducted a GPR survey during an infiltration experiment on a hillslope in the Devonian schist of the Attert Catchment. During infiltration an area of 25m x 25m was irrigated. A homogenous infiltration can be assumed in the central area of the precipitation with a size of 5m x 5m and a precipitation intensity of ~30mm/h within ~4 hours. Point based measurements of the infiltrated water took place below and in the infiltration area at eighteen vertical soil moisture profiles and five piezometers, respectively. Down slope the infiltration area, we measured GPR profiles along four fixed lines at nine different time steps. Thereby, we used a GPR surveying strategy based on an automatic tracking total station. The processing of each GPR profile followed the same standard processing scheme including bandpass filtering, exponential scaling, gridding, and topographic migration. After ~4 hours of infiltration time we observe significant differences in our time-lapse GPR data. Our results indicate changes in the electrical properties of the subsurface, which can be related to a highly complex 3D



subsurface flow structure at different depth levels. Furthermore, we compare the GPR results to soil-moisture and piezometer data. Although our interpretation is supported by the available soil moisture profile data, our results demonstrate that point-measurements are not sufficient to understand subsurface flow phenomena in detail.

### **Elektromagnetik/ Georadar EM-3.003**

#### *Bestimmung der 3D-Position einer Dipolquelle über dem Forschungs- und Lehrbergwerk "Reiche Zeche" mittels elektromagnetischer Verfahren*

**Malecki, S.\*, Börner, R.-U., Spitzer, K.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Am Institut für Geophysik und Geoinformatik wird ein Verfahren zur Positionsbestimmung untertage entwickelt. Grundlage bilden mehrere magnetische Dipolquellen an der Erdoberfläche. Nach Abschalten des Stromes in einer Sendespule wird das transiente Magnetfeld dieser Quelle untertage an einem Punkt aufgezeichnet. Das Verfahren wird für jede weitere Senderposition in gleicher Weise wiederholt. Die Koordinaten des Messpunktes untertage werden durch einen Inversionsalgorithmus automatisch bestimmt. Die zeitliche Erfassung transients elektromagnetischer Felder bildet die Grundlage des Verfahrens. Das Prinzip der Umkehrbarkeit von Sendern und Empfängern (Reziprozitätsprinzip) ermöglicht in der Erprobungsphase eine einfachere Messanordnung, die übertage eine Dipolquelle und untertage mehrere Messpunkte vorsieht.

Im Freiburger Forschungs- und Lehrbergwerk "Reiche Zeche" wurden erste Experimente durchgeführt. Die Position der Quelle übertage soll aus den untertägigen Messungen transients elektromagnetischer Felder bestimmt werden. Die Messpunkte untertage sind geodätisch bestimmt worden.

Die 3D-Position der Dipolquelle konnte im Anschluss an die Messungen mit Hilfe einer Inversionsrechnung aus den Transienten berechnet werden. Die Nichtlinearität des Problems bedingt einen iterativen Ansatz. Das verwendete Gauß-Newton-Verfahren liefert in jeder Iteration eine Suchrichtung, wobei die Schrittweite zum Update der Dipolkoordinaten mittels Line Search bestimmt wird. Eine Regularisierung, die den jeweils aktuellen Positionierungsfehler als Wichtungsparemeter nutzt, unterstützt die Lösungssuche.

Es werden die Ergebnisse der Berechnungen vorgestellt sowie eine Abschätzung der Positionierungsgenauigkeit gegeben.

### **Elektromagnetik/ Georadar EM-3.004**

#### *First evidence of Surface-NMR signals detected using a B-field sensor*

**Müller-Petke, M.<sup>1</sup>, Dlugosch, R.<sup>1</sup>, Stolz, R.<sup>2</sup>, Davis, A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, S5 Gesteinsphysik und Borhlochgeophysik, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Quantendetektion, Jena, Deutschland, <sup>3</sup>CSRIO Earth Science and Resource Engineering, Kensington, Australien

The technique of surface nuclear magnetic resonance (surface-NMR) allows for detecting and characterizing subsurface aquifer structures. Surface-NMR commonly uses large surface coils to transmit an excitation pulse and to receive an earth response. While excitation is based on an oscillating B-field, the earth response contains a non-oscillating (T1) and an oscillating (T2) B-field component. Only the oscillating component can be detected as an induced current in the receiver loop. Surface-NMR can be applied as 1D sounding (MRS) using the same loop for transmitting and receiving or as 2D tomography (MRT) using several receiver loops.

Our research aims to replace the receiver loop by B-field point receivers to directly record the earth's response that would not only allow for detecting the non-oscillating T1 component but ease field work for 2D investigation by replacing several large receiver loops by small point receiver. We present the first successful field measurement carried out in Germany at a well known test site detecting surface-NMR signals using a B-field sensor. The used sensor is a SQUID system from IPHT Jena that provides a unique sensitivity to detect B-field variation in the femtoTesla range.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-4.001

*Verfahren zur räumlich integrierten Bodenfeuchtemessung unter Verwendung der Bodenwelle des Langwellensenders DCF77*

**Kiseleva, O.\*<sup>1</sup>, Hübner, C.<sup>2</sup>, Brandelik, A.<sup>1</sup>, Kalthoff, N.<sup>1</sup>, Kohler, M.<sup>1</sup>, Königer, F.<sup>1</sup>, Kottmeier, C.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Meteorologie und Klimaforschung/ Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>TRUEBNER GmbH, Bad Schwartau, Deutschland

Die Verwendung von elektromagnetischen Wellen zur Erkundung des Untergrundes, insbesondere für die Feuchtebestimmung, gehört zu den meist eingesetzten Messverfahren der Geophysik. Die üblicherweise benutzten in-situ und fernerkundlichen Messmethoden basieren auf der Verwendung hochfrequenter elektromagnetischer Impulse. Geringe Eindringtiefen und die Reichweiten bei den Hochfrequenzmessungen erlauben nur lokale und grobaufgelöste Aussagen.

Der Einsatz niedrigerer Frequenzen führt zur Ausdehnung der erfassten Flächen und ermöglicht damit eine räumlich integrierte, kontinuierliche Erfassung der Bodenfeuchte. Das Prinzip des Messverfahrens basiert auf der Ermittlung der Phasenverzögerung der von einem Radiosender ausgestrahlten elektromagnetischen Oberflächenwelle. Die Abhängigkeit des Ausbreitungsverhaltens einer Bodenwelle hängt von der Leitfähigkeit des übertragenden Mediums ab. Diese wiederum ist unter anderem stark von der Feuchte des Mediums abhängig. Für das Detektieren des Langwellensignals DCF77 aus Mainflingen wurden drei Messstationen auf der Messstrecke (Edingen - Karlsruhe) ca. 20 km voneinander entfernt aufgebaut. 6 weiteren Bodenfeuchtemessstellen, die entlang der Messstrecke in gleichem Abstand installiert wurden, dienen zur Kalibrierung und Validierung des neuen Bodenfeuchtemessverfahrens. Der vorgestellte Beitrag zeigt erste Ergebnisse aus 1-jähriger Messreihe. Die Messungen weisen die ausgeprägte Abhängigkeit der Phasenwerte von der Leitfähigkeitsänderung in der beobachteten Bodenschicht auf.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-4.002

*Very Low Frequency Messungen mit einem Unmanned Airborne System Datenanalyse und Ergebnisse*

**Eröss, R.\*<sup>1</sup>, Stoll, J.B.<sup>2</sup>, Bergers, R.<sup>1</sup>, Tezkan, B.<sup>1</sup>, Moritz, D.<sup>2</sup>, Pickartz, N.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universität zu Köln, Geophysik, Köln, Deutschland, <sup>2</sup>Mobile Geophysical Services, Cell, Deutschland

Die Flexibilität eines Unmanned Airborne Systems (UAS) kann zur Verbesserung von geophysikalischen Messkampagnen beitragen. Verglichen mit konventionellen bodengebundenen Messungen ist ein UAS in der Lage auch an potenziell gefährlichen und/oder unpassierbaren Messlokalitäten Messungen durchzuführen. Die Nähe zum Untergrund und die geringe Fluggeschwindigkeit eines UAS verglichen mit herkömmlichen Flugmessungen ermöglichen eine höhere Auflösung. Dennoch werden UAS bisher vergleichsweise selten in der angewandten Geophysik verwendet.

Das hier vorgestellte geophysikalische Messsystem besteht aus dem unbemannten Helikopter Scout B1-100 von Aeroscout, dem Analog Digital Unit (ADU)-07 Datenlogger und dem Super High Frequency Induktionspultentripel (SHFT) Sensor von Metronix. Der Helikopter wiegt 45 kg, ist in der Lage ca. eine Stunde am Stück zu fliegen und hat eine maximale Traglast von 15 kg. Die geophysikalischen Geräte sind über eine von Aeroscout speziell entwickelte Aufhängung mit dem Helikopter verbunden.

In Zusammenarbeit mit Mobile Geophysical Services sind Very Low Frequency (VLF) - UAS Messungen über zwei künstlichen Anomalien in der Schweiz durchgeführt worden. Um das Potenzial des neuen VLF-UAS Systems zu ergründen wurden auf vier Profilen a 200 m Messungen mit einer Fluggeschwindigkeit von 1 m/s durchgeführt. Das Ziel war die Lokation der Anomalien (ein Stromkabel und eine Gaspipeline) zu bestätigen. Ein Vorteil des hier benutzten Messsystems ist die Fähigkeit mehrere VLF Transmitter gleichzeitig aufzuzeichnen, was eine bivariate Analyse der Daten ermöglicht. Die Zeitreihen der Hx, Hy und Hz Komponenten wurden prozessiert. Zunächst wurden die Zeitreihen fouriertransformiert und anschließend über die Senderfrequenzen gemittelt. Dabei ist es für die Qualität der berechneten Übertragungsfunktionen wichtig die gesamte spektrale Breite der verwendeten VLF Sender zu benutzen. Hiernach können die Übertragungsfunktionen skalar, mittels einer für zwei Sender exakten Lösung oder mittels einer Least-Squares Lösung berechnet werden.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-4.003

### *(An)isotrope 3D Array Magnetotellurik im südwestlichen Vogelsberg*

**Löwer, A.<sup>1</sup>, Junge, A.<sup>1</sup>, Tietze, K.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Goethe Universität Frankfurt, Geowissenschaften / Geographie, Frankfurt am Main, Deutschland, <sup>2</sup>GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam, Potsdam, Deutschland

Der Vogelsberg ist das größte geschlossene Vulkangebiet Mitteleuropas und Teil des hessischen Mittelgebirges. Er überdeckt die Phyllitzzone, die die Grenze zwischen Rhenoharzynikum und Moldanubikum markiert. Die Gefügestrukturen in diesem Gebiet sind überwiegend NW-SE ausgerichtet und entsprechen dem variszischen Streichen. Der Horloffgraben, der eine Verlängerung des früheren Oberrheingrabens darstellt, kreuzt als weitere Störungszone das Messgebiet.

Um die elektrische Leitfähigkeitsverteilung der unter der Basaltschicht des Vogelsberges verborgenen geologischen Großstrukturen zu erkunden, wurden zwischen 2010 und 2012 an 25 Stationen Daten mit einem 3D-Breitband-Magnetotellurik Array erhoben. Diese Methode reagiert auf Leitfähigkeitskontraste im Untergrund wie sie durch die Sedimentfüllung des Horloffgrabens und den Übergang zwischen der vermutlich elektrisch anisotropen Phyllitzzone und der mitteldeutschen Kistallinschwelle erwartet werden. Das Messgebiet deckt mit seiner Fläche von 800km<sup>2</sup> die genannten geologischen Strukturen ab. Unter Verwendung der Frankfurter GELORE und der Metronix ADU07 wurden die natürlichen EM-Feldvariationen in einem breiten Periodenbereich von 0.1ms bis 10000s aufgezeichnet. Aus den aufgezeichneten Daten wurden frequenzabhängige Phasentensoren berechnet. Unter Berücksichtigung anisotroper Leitfähigkeitsstrukturen wurde ein 3D Modell der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung entwickelt und mit der Finite-Elemente Software Comsol Multiphysics 4.3a berechnet. Außerdem wurden isotrope 3D Inversionen der gemessenen Impedanzen und Phasentensoren mit ModEM für verschiedene Startmodelle durchgeführt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die mehr als 200km entfernten und ca. 5km mächtigen gutleitenden Sedimente in Norddeutschland und Polen eine unerwartet große Rolle spielen. Ohne Apriori Informationen in den Startmodellen ist eine Inversion des Datensatzes und eine Interpretation der kleinräumigen Strukturen nicht möglich.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-4.004

### *Inversion of magnetotelluric data in a sparse model domain*

**Nittinger, C.\*, Becken, M.**

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland

Magnetotelluric inversion models are usually discretized into a large number of non-overlapping blocks of constant resistivity. The resulting inverse problem is heavily ill-posed and smoothing constraints are employed to outweigh the under-determinacy. Here, we present an alternative inversion scheme that estimates a sparse wavelet representation of the model. The objective of the inversion is to determine the few non-zero wavelet coefficients which are required to fit the data. This approach falls into the class of sparsity constrained inversion schemes. The approach minimizes the combination of the data misfit in a least squares (L2) sense and of a model coefficient norm in a L1 sense (L1-L2 minimize). The L1 coefficient norm renders the solution sparse in a suitable basis such as the multi-resolution wavelet basis, but does not impose explicit structural penalties on the model as it is the case for L2 regularization. Two numerical algorithms are presented to solve the mixed L2-L1 norm minimization problem for the non-linear magnetotelluric inverse problem. Both algorithms produce sparse solutions. Additional compression is achieved by thresholding very small wavelet coefficients which are not necessary to fit the data. The results are compared to usual smoothness regularized inversion results. Model resolution analysis in terms of singular value decomposition and correspondent analysis of the null space of the resulting inverse models will also be discussed. Furthermore we will show first inversion results of a RMT study comparing the sparsity constrained inversion of real data to a smoothness constrained inversion.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-4.005

### *High frequency MT data: understanding the deadband between 1 and 4 kHz*

**Schennen, S.<sup>\*1,2</sup>, Ritter, O.<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>GFZ Potsdam, Sektion 2.2: Geophysikalische Tiefensondierung, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>FU Berlin, Fachbereich Geowissenschaften, Berlin, Deutschland

Magnetotellurics (MT) is a geophysical sounding method to explore the conductivity structure of the subsurface to depths of several kilometres. The method is based on naturally occurring temporal variations of Earth's magnetic field. Natural sources suitable to explore the shallow subsurface (e.g. less than a kilometre) are lightning discharges, which radiate electromagnetic energy at frequencies in a range of a few Hz to several MHz. These sferics travel in the Earth-ionosphere waveguide. MT data typically exhibit poor data quality in the so called dead band between 1 and 4 kHz. To better understand the reasons for this phenomenon, we evaluate high frequency MT data (25 kHz sampling rate) in terms of diurnal variations in the spectral domain and link the results to a database of a German lightning detection network. As expected, we observe strong correlation between MT signal quality and lightning activity during night time. During daytime, however, MT data is generally of poor quality. This phenomenon appears to be linked with an increase of electron density in the upper atmosphere during daytime. As a consequence, the effective height of the ionosphere becomes smaller, the Earth-ionosphere waveguide narrower and the cut-off frequency is shifted towards higher frequencies. To examine the spatial coherence of these sferics, we recorded data synchronously at two sites with a station separation of 600 km. In combination with the lightning database we could determine the source regions of the signals at a distance of 6000 km. The recorded MT signals, particularly of some high power events, are clearly correlated between the two sites but with a noticeable time shift. The time shift is consistent with the travel time of electromagnetic waves (speed of light). This has implications for the use of processing techniques like Remote Reference.

## EM Elektromagnetik/ Georadar Poster

### Elektromagnetik/ Georadar EM-P.001

#### *UAV-borne electromagnetic induction and ground-penetrating radar measurements: a feasibility test*

**Altdorff, D.<sup>\*1</sup>, Schliffke, N.<sup>2</sup>, Riedel, M.<sup>2</sup>, Schmidt, V.<sup>2</sup>, van der Kruk, J.<sup>1</sup>, Stoll, J.B.<sup>3</sup>, Becken, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland, <sup>2</sup>Institute of Geophysics, Münster, Deutschland, <sup>3</sup>Mobile Geophysical Technologies, Celle, Deutschland

The use of unmanned aerial vehicles (UAV) in near-surface geophysical sensing provides the benefits of mapping large areas in a short period of time and at a high spatial resolution. Here, we present preliminary UAV-borne electromagnetic induction (EMI) and ground penetrating radar (GPR) measurements using an EM38 dual-coil and GSSI GPR system with a 400 MHz antenna, respectively. Positioning and reference timing were tracked with GPS and barometric helicopter height was recorded on-board. Height of the sensors above ground was in the range of 1- 3 m, but could not be measured exactly during the test survey. In addition to the airborne survey, we recorded ground-based EMI and GPR data for comparison and validation. EMI responses in the air were measured for 0.5m and 1m coil separations. Ground-based noise measurements suggested that the noise generated by the aircraft engine would not disturb the EMI readings at distances larger than one meter. However, the airborne EMI measurement still contains significant amounts of noise that was partly removed by applying a moving average filter. Two anomalous objects could be identified in the ground-based and UAV-borne data, whereas similar qualitative trends for part of the data could be observed. Remaining differences are probably due to remaining noise and the different sensing depths of the UAV-borne and ground-based setup. To improve the measurements a more stable EMI instrument should be used and the helicopter height should be accurately known. The UAV-borne 400 MHz GPR data showed subsurface reflections that agreed well with the ground-based data. However, the penetration depth was about 40 percent less due to the surface reflection and geometrical spreading. On the

other hand, the quality of the ground-based data was affected by changes in the antenna-ground coupling due to small-scale heterogeneities in soil properties as well as tilting of the antenna on uneven surfaces. In the airborne data, the surface reflection was clearly pickable and could be used for static correction of the flight height. In parts of the data, strong reverberations due to multiple reflections between helicopter and ground occur and can cover weaker subsurface reflections. These results show that UAV-borne EMI and GPR measurements are feasible, but need dedicated calibration and processing approaches that are currently in development.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.002**

### *Topographic migration of 2D and 3D GPR data with variable velocities.*

**Allroggen, N.\*, Tronicke, J., Delock, M., Böniger, U.**

Universität Potsdam, Angewandte Geophysik, Potsdam, Deutschland

Ground penetrating radar (GPR) is a standard near-surface geophysical tool to image subsurface structures and architecture in two and three dimensions. In most GPR applications, 2D/3D migration routines have to be used to move reflections to their correct position, to unravel crossing events, and to collapse diffractions. When 3D GPR data are collected across topographically rugged terrain (i.e., when local surface gradients are larger than 10% and topographic variations are in the order of the target depths), ground topography must be included in the migration process to obtain a detailed and reliable image of subsurface structures. In addition, although many GPR data sets are reasonably well migrated assuming a constant velocity, there are some rather typical subsurface settings, which require a migration strategy accounting for variable velocities. A typical example for such a setting is the presence of a shallow ground water table, which can easily result in a velocity decrease of 50% and more. If also a significant topographic relief is present, we consequently require a migration scheme explicitly accounting for variable velocities and undulating acquisition surfaces. Here, we present an extension of a well known and established topographic migration scheme. In addition to an undulating acquisition surface, our Kirchhoff migration scheme relies on the root-mean-squared (rms) velocity approximation to account for vertical and moderate horizontal velocity variations. After testing and evaluating our 2D/3D migration approach using synthetic data examples, we apply it to field data collected at field sites showing significant variations in surface topography and subsurface velocities. Our synthetic and field data examples demonstrate that a significant improvement in structural imaging quality is achieved by considering rms velocities during topographic migration.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.003**

### *Robust processing of radio-magnetotelluric data*

**Becken, M.\***

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland

We tested the performance of standard robust magnetotelluric processing when applied to radiomagnetotelluric (RMT) data. Here, we follow the methodology described by Egbert and Boker (1986), which is based on an iteratively reweighted least squares solution applying Huber weights to downweight individual Fourier coefficients identified as outliers and followed by a final iteration applying more severe bi-square weights. For the estimation, we select Fourier coefficients that pass a coherency threshold. The coherency is estimated from smoothed auto- and crosspower spectra using a running-average type smoothing over a given domain in frequency and time. Radio signals have coherencies close to one and can thus effectively be selected using coherency thresholding. For bivariate processing, at least two transmitters of different origin (and at different frequency) must be combined to yield estimates for a target frequency. Therefore, we subdivide the spectrum into sufficiently wide frequency bands to ensure that a number of transmitters are included in each band. RMT data were recorded at different test sites with the Metronix ADU07e data logger, the SHFT02 three-component magnetic induction coil sensors, and steel electrodes with and without pre-amplifiers on the electrodes. These data were used to test the processing scheme. We found that the procedure yields smooth transfer functions in the frequency range from 20 kHz to 200 kHz, except for the band around 100 kHz, where the LORAN-C navigation signals dominate the spectrum. We also found that in addition to radio transmissions, coherent transient signals, presumably of atmospheric

origin are evident in the data in the frequency range from 7 - 40 kHz. With our processing scheme, it is straightforward to include and to combine these signals with those from radio signals. This yields transfer functions covering the wider frequency band from 7 kHz to 200 kHz and yields increased sounding depths.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.004**

### *Prediction of GPR performance in soils using dielectric spectroscopy and TDR*

**Loewer, M.\*, Igel, J.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

The question whether or not GPR will succeed at a certain location is frequently asked and is of fundamental interest especially for high-frequency applications as for landmine and IED (improvised explosive device) detection. One of the factors influencing GPR performance is the complex dielectric permittivity, which depends on the water content, the electrical conductivity and the type and amount of fine-grained material (silt, clay). Our investigations on soil samples using the coaxial transmission line technique and a vector network analyzer show the influence of the soil properties on the effective dielectric permittivity spectra between 1 MHz and 10 GHz. The frequency-dependent permittivity data were inverted using a combination of Debye- and Cole-Cole type relaxation models and a constant low-frequency conductivity term. This enables to investigate how the different intrinsic properties of the soil attenuate the propagating electromagnetic waves with respect to the GPR frequency band. Different soils from Germany and Afghanistan were analyzed. In the dielectric spectra of the soils we found three dielectric relaxation mechanisms, which could be assigned to the free water and two interfacial relaxations (e.g. bound water, Maxwell-Wagner effect). Based on the laboratory results using the coaxial transmission line method, we were searching for a simple and fast method that can measure the intrinsic attenuation of the soil in the field. We found that time-domain reflectometry (TDR) is the most practical tool for this purpose. By analysing the traveltimes and amplitude of the TDR signal it is possible to deduce radar-wave velocity and attenuation in the frequency range. Our measurements using TDR in various materials show good agreement with the intrinsic attenuation measured with coaxial transmission lines.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.005**

### *Multi-dimensional forward modeling of frequency-domain helicopter-borne electromagnetic data*

**Miensopust, M.\*<sup>1</sup>, Siemon, B.<sup>1</sup>, Börner, R.-U.<sup>2</sup>, Ansari, S.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland, <sup>3</sup>Memorial University of Newfoundland, St. John's, Kanada

Helicopter-borne frequency-domain electromagnetic (HEM) surveys are used for fast high-resolution, three-dimensional (3-D) resistivity mapping. Nevertheless, 3-D modeling and inversion of an entire HEM data set is in many cases impractical and, therefore, interpretation is commonly based on one-dimensional (1-D) modeling and inversion tools. Such an approach is valid for environments with horizontally layered targets and for groundwater applications but there are areas of higher dimension that are not recovered correctly applying 1-D methods. The focus of this work is the multi-dimensional forward modeling. As there is no analytic solution to verify (or falsify) the obtained numerical solutions, comparison with 1-D values as well as amongst various two-dimensional (2-D) and 3-D codes is essential. At the center of a large structure (a few hundred meters edge length) and above the background structure in some distance to the anomaly 2-D and 3-D values should match the 1-D solution. Higher dimensional conditions are present at the edges of the anomaly and, therefore, only a comparison of different 2-D and 3-D codes gives an indication of the reliability of the solution. The more codes - especially if based on different methods and/or written by different programmers - agree the more reliable is the obtained synthetic data set.

Very simple structures such as a conductive or resistive block embedded in a homogeneous or layered half-space without any topography and using a constant sensor height were chosen to calculate synthetic data. For the comparison one finite element 2-D code and numerous 3-D codes, which are based on finite difference, finite element and integral equation approaches, were applied. Preliminary results of the comparison will be shown and discussed. Additionally, challenges that arose from this comparative study will

be addressed and further steps to approach more realistic field data settings for forward modeling will be discussed. As the driving engine of an inversion algorithm is its forward solver, applying inversion codes to HEM data is only sensible once the forward modeling results are reliable (and their limits and weaknesses are known and manageable).

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.006**

### *Marine Circular Electric Dipole: Synthetic modeling studies in shallow marine environments*

**Haroon, A.<sup>\*1</sup>, Goldman, M.<sup>2</sup>, Tezkan, B.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute for Geophysics and Meteorology, Cologne, Deutschland, <sup>2</sup>Geophysical Institute of Israel, Lod, Israel

Electromagnetic (EM) methods have been applied successfully in marine geophysical prospecting aiming at studying the oceanic lithosphere or delineating resistive submarine targets, i.e. hydrocarbon reservoirs or groundwater bodies. The majority of these measurements confine to the application of a horizontal electric dipole (HED) transmitter with a transient or low frequency continuous wave excitation that is towed over an array consisting of seafloor-based electromagnetic receivers. Due to the large offsets required to delineate deep-lying resistive targets, the lateral resolution of HED is rather limited. Additionally, the well-known airwave effect, which is particularly distinctive in shallow water, may mask the response of a subsurface resistor. We propose to apply a novel transmitter-receiver system called Marine Circular Electric Dipole (MCED), which under certain circumstances is the equivalent of the vertical electric dipole (VED) method. The presented study seeks to theoretically compare the MCED method to both the LOTEM (transient HED) method and the VED method using 1D and multidimensional modeling studies. The results show, that at least in theory, the application of the MCED technology is desirable since the method possesses a superior lateral resolution compared to LOTEM. Also, due to the issue of non-verticality in VED measurements, the MCED might serve as an alternative EM prospecting technology in shallow marine environments.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.007**

### *Influence of antenna polarisation on GPR signals of linear targets*

**Igel, J.<sup>\*1</sup>, Takahashi, K.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Center for Northeast Asian Studies, Tohoku University, Sendai, Japan

Linear objects are typical targets for ground-penetrating radar (GPR) investigation of the shallow subsurface. Such targets may be cables and pipes for civil engineering applications or command wires for IED (improvised explosive device) detection. These objects have a radar cross section that depends on the polarisation of the antenna and are often within or close to the antennas near field. We determined the reflected signals from a thin wire in a sandbox experiment, where it was placed directly on the ground surface and at a depth of 15 cm. A stepped-frequency radar system was used with a pair of linearly polarised Vivaldi antennas (centre frequency about 2 GHz) and circularly polarised spiral antennas (centre frequency about 3.5 GHz). The antennas were moved at a distance of 2 cm above the ground surface by help of a scanning system and the direction of antenna polarisation was gradually changed. The results of the experiments were compared to numerical calculations based on the method of moments (FEKO) and the analytical solution, both of which are strictly valid only in the far field of antennas. However, the comparison proves that in spite of the short distance of the target to the antennas, the numerical and analytical solution both give reasonable results with discrepancies of at maximum 20% in comparison to the experimental data.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-P.008

### *Kartierung von Tonvorkommen aus der Luft am Beispiel des Messgebietes Esens in Ostfriesland* **Siemon, B.<sup>\*1</sup>, Voß, W.<sup>1</sup>, Elbracht, J.<sup>2</sup>, Deus, N.<sup>3</sup>, Wiederhold, H.<sup>3</sup>, Meyer, U.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>BGR, Grundwasser und Boden, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>LBEG, Hannover, Deutschland, <sup>3</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Aerogeophysikalische Verfahren bieten die Möglichkeit, Rohstoffe schnell und kostengünstig aus der Luft zu erkunden. Neben der Grundwassererkundung und der Erkundung von mineralischen Rohstoffen spielt auch die Erkundung von nicht-mineralischen Rohstoffen eine wichtige Rolle. Mit elektromagnetischen Verfahren lassen sich Kiese und Sande und insbesondere auch Tone aufgrund ihrer charakteristischen elektrischen Leitfähigkeit erkennen.

Das Projekt D-AERO der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) hat in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten und Forschungseinrichtungen das Ziel, durch Setzung von inhaltlichen und regionalen Schwerpunkten vorhandene Messgebiete zusammenzuführen und durch neue Befliegungen bei Bedarf zu ergänzen. Der aktuelle Schwerpunkt liegt an der Nordseeküste, wo u.a. die Ausbreitung der Grundwasserversalzung und die Verbreitung von Tonvorkommen untersucht werden.

Die Ergebnisse der drei gleichzeitig eingesetzten Methoden Aeroelektromagnetik, Aeromagnetik und Aeroradiometrie sind für mehrere Messgebiete in Ostfriesland, die in den Jahren 2008 bis 2009 zusammen mit dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) mit dem Hubschrauber der BGR beflogen worden sind, zu gemeinsamen Übersichtskarten zusammengestellt worden. Insbesondere die Ergebnisse der Hubschrauberelektromagnetik (HEM) decken lithologische Strukturen sowie Grundwasserversalzungen auf, auch unterhalb einer Deckschicht. Die spezifischen Widerstände, abgeleitet aus HEM-Daten zu fünf Messfrequenzen ( $f = 386 \text{ Hz} - 133 \text{ kHz}$ ), weisen Bereiche mit Tonvorkommen aus, die sich meist in etwa 10-20 m Tiefe befinden. Der Vergleich mit Bohrungen aus der Bohrdatenbank des niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zeigt eine hohe Übereinstimmung auf. Damit stellen die flächenhaft vorliegenden aerogeophysikalischen Ergebnisse eine ideale Ergänzung zu den lediglich punktuell vorliegenden Bohrungsergebnissen dar. Die Kenntnis zur flächenhaften Verbreitung dieser Tonvorkommen ist für den Grundwasserschutz, als potenzielle Lagerstätte und für die Rekonstruktion des Sedimentationsprozesses von Bedeutung.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-P.009

### *Hubschraubergeophysikalische Messungen in Norddeutschland*

**Siemon, B.<sup>\*1</sup>, Wiederhold, H.<sup>2</sup>, Steuer, A.<sup>1</sup>, Voß, W.<sup>1</sup>, Meyer, U.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>BGR, Grundwasser und Boden, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) betreibt seit über drei Jahrzehnten ein Hubschraubermesssystem mit den drei gleichzeitig eingesetzten Methoden Aeroelektromagnetik, Aeromagnetik und Aeroradiometrie. Mit diesem aerogeophysikalischen System sind bisher viele Gebiete in Norddeutschland beflogen worden. Insbesondere die Ergebnisse der Hubschrauberelektromagnetik (HEM) ermöglichen es, lithologische Strukturen sowie Grundwasserversalzungen - auch unterhalb von Bedeckungen - aufzudecken. Im BGR-Projekt D-AERO werden vorhandene Messgebiete zusammengeführt und durch neue Befliegungen in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten und Forschungseinrichtungen ergänzt. Der aktuelle Schwerpunkt liegt an der Nordseeküste, wo u.a. die Ausbreitung der Grundwasserversalzung und die Verbreitung von Tonvorkommen untersucht werden. Hierzu wurden auch vom Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) weitere Befliegungen mit dem SkyTEM-System beauftragt. Die Ergebnisse werden in das Fachinformationssystem Geophysik (<http://www.geophysics-database.de/>) des LIAG eingestellt und sukzessive ergänzt.

Es wird hier ein Überblick über die bisher vorhandenen Messgebiete gegeben sowie anhand von ausgewählten Beispielen die Anwendungsmöglichkeiten der Aerogeophysik in Norddeutschland diskutiert.



## Elektromagnetik/ Georadar EM-P.010

### *First test measurements for utilizing Impressed Current Cathodic Protection of pipelines as a source for EM exploration*

**Lindau, T.<sup>\*</sup>, Becken, M.**

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland

Many of the pipelines forming the dense system of water-, oil- and gas pipelines present in central Europe are protected against electrochemical corrosion by Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) systems. In normal operation mode an ICCP system injects a DC current into the pipeline. However, for occasional pipeline integrity tests the current is switched on- and off periodically, generating time-varying electrical currents and thereby inducing secondary electric- and magnetic fields in the surrounding earth.

While to date these fields are considered to be unwanted cultural noise in electromagnetic exploration, this work aims at utilizing the fields generated by the ICCP system for determining the electrical resistivity of the subsurface. This is especially interesting since the electromagnetic fields generated by the pipeline usually have a fundamental period of 15s and thereby correspond to exploration depths of interest for commercial applications. In addition, well known and well understood standard interpretation schemes for electromagnetic data can be used in the interpretation process.

A pipeline segment near Herford, Germany of approximately 30km length operated by the Westnetz GmbH is selected as a test site for detailed studies. The current injected into the pipe originates in a 50Hz AC signal which is rectified and periodically switched on and off. The current along the pipeline decays with distance from the injection point and its distribution is determined using a pipeline detection tool as it is used by the operator. In a first field campaign the electric fields are measured at distances up to 2km from the pipeline at nine equidistantly spaced two-component electric field stations. For later processing, the injection current was recorded directly at the injection point. During the measuring campaign both, periods with a constant ICCP current and periodic switching of the current, were covered.

Time series processing aims at estimating transfer functions between the injection current and the local electric field recordings. The methodology and preliminary processing results will be discussed.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-P.011

### *Fault characterization in arid environments using transient electromagnetics with a SQUID magnetometer: the Hei River Basin*

**Rudersdorf, A.<sup>\*1</sup>, Hölz, S.<sup>2</sup>, Reicherter, K.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>RWTH Aachen University, Neotektonik und Georisiken, Aachen, Deutschland, <sup>2</sup>GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Energie und Rohstoffe, Kiel, Deutschland

The endorheic Hei River Basin (Gaxun Nur Basin, Ejina Basin) in NW China is located in the Gobi belt of left-lateral transpression between the Qilian Shan Mountain Range / Hexi Corridor in the south and the Gobi Altai Ranges in the north. The main driver of this system is the northward advancement of the Indian subcontinent towards Asia and the ongoing uplift of the Tibetan Plateau. In the past, the Hei River Basin was thought of as being decoupled from surrounding active tectonic processes and part of a tectonically stable block. However, in the past decade geophysical and other geoscientific investigations have provided evidence that the sedimentary successions in the basin are to some degree overprinted by active tectonic processes.

In spring 2012 we conducted a multi-method geophysical survey (GPR, H/V, TDEM), which focused on the sedimentary structures located in the central and western parts of the Hei River Basin. Here, we will focus on the electromagnetic (EM) investigations, which were conducted with a liquid nitrogen-cooled SQUID magnetometer. EM investigations were aimed at detecting and characterizing the Quaternary - Pre-Quaternary boundary, which was expected at depths of 150m - 300m determined from drillings and previous EM experiments. Measurements were conducted on eight days with a station spacing of 100 m along several profile lines yielding a combined profile length of about 17 km. The fast progress of more than 2 km per day was possible as the transmitter coils (100 m x 100 m, 10A source current) were placed with a wide spacing of 750 m along these profiles, which significantly reduced the logistical effort. Consequently, measurements were performed with receiver - transmitter spacings of between 0 m (inloop) and 400 m.

We present an assessment of the data quality - in parts this is limited by artificial noise (power lines), wind

induced sensor motion and natural magnetic field variations - and give interpretation examples. These are based on 1D modeling and inversion of the acquired data.

### **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.012**

#### *Entwicklung einer 2D Magnetotellurik Finite Elemente Simulationsroutine in Matlab*

**Patzer, C.\*, Franke-Börner, A., Wilhelms, W., Börner, R.-U., Spitzer, K.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg, Deutschland

Während in den Ingenieurwissenschaften die Finite Elemente Methode weit verbreitet ist, gewinnt sie erst in den letzten Jahren auch in der Geo-Elektromagnetik weiter an Bedeutung. Im Vergleich zur Methode der Finiten Differenzen lassen sich beliebig komplizierte Geometrien durch unstrukturierte Dreiecksgitter approximieren und das Gitter lokal in den Gebieten verfeinern, in denen sich die Lösung einerseits stark verändert und andererseits überhaupt von Interesse ist. Die Genauigkeit der Lösung ist dabei abhängig vom verwendeten Polynomgrad der Basisfunktionen, der Anzahl der Freiheitsgrade des Gitters sowie der Regularität der exakten Lösung.

Wir haben unter Matlab einen Code zur Finite-Elemente-Simulation zweidimensionaler magnetotellurischer Felder entwickelt. Zu seiner Validierung präsentieren wir Konvergenzstudien für Modelle des homogenen und des geschichteten Halbraums bei verschiedenen Frequenzen. Außerdem demonstrieren wir die Vorteile einer adaptiven Gitterverfeinerung auf der Grundlage eines zielorientierten Fehlerschätzers, der eine Hierarchie von Basisfunktionen benutzt. Dabei wird das Residuum der Finite-Elemente-Lösung auf einen Raum höherwertiger Ansatzfunktionen projiziert. Ziel ist es weiterhin, verschiedene Inversionsstrategien zu testen und ebenfalls zu implementieren.

### **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.013**

#### *Elektromagnetische Mehrspulen- und Gleichstromgeoelektrik- Messungen zur Erkundung einer archäologischen Verdachtsfläche*

**Avci, G.\*, Gurk, M., Tezkan, B.**

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Oberflächennahe Elektromagnetische Induktionsverfahren (EMI) werden wegen ihrer Mobilität, Schnelligkeit und aufgrund vergleichsweise niedriger Kosten für geophysikalische Messungen eingesetzt. Die Messdaten müssen allerdings im Gegensatz zu den Daten der elektrischen Widerstandstomographie (ERT) kalibriert werden, um quantitative Aussagen zuzulassen. Wir haben auf drei verschiedenen Anwendungsgebieten (archäologisch, geotechnisch und geologisch) das CMD-MINI Explorer der Firma GF Instruments getestet und mittels ERT Sondierungen kalibriert.

Das Gerät arbeitet mit einer festen Frequenz von 30kHz und besteht aus einer Senderspule und drei Empfängerspulen, die sich in einem Abstand von 0.32m, 0.71m und 1.18m von der Senderspule befinden. Damit ist eine Aussage bis zu einer Tiefe von ca 1.80m möglich. Das Poster zeigt u.a., dass bei der archäologischen Messung in Nettersheim (Eifel) die dort vermutete Römerstraße anhand niedriger scheinbarer Leitfähigkeiten erkennbar ist.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.014**

### *Eigenpotential- und RMT-Messung zur Erkundung der Symmetrieeigenschaften und der Leitfähigkeitsverteilung des Rodderberg-Vulkans*

**Nickel, I.\***

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Der mittelpleistozäne Vulkankomplex des Rodderbergs südlich von Bonn steht derzeit im Fokus für verschiedene Studien zur Klimageschichte. Sein zentraler Krater stellt eine bis heute geschlossene Hohlform dar, die noch fast vollständig von einem Wall aus Schlacken und Tephren umgeben ist. Die derzeit aktuelle Forschungsbohrung im Zentrum der Kaldera zeigt eine Abfolge von Sedimenten, Tuffe und Schlacken bis hinunter auf etwa 115 m Tiefe.

Wir gehen von einer ausgesprochenen rotationssymmetrischen Verfüllung der Kaldera aus, die wir mit geophysikalischen Potentialverfahren sowie mit elektromagnetischen Methoden (RMT) belegen und studieren wollen. Hierzu werden vorhandene gravimetrische und magnetische Daten benutzt, die mit einem digitalen Höhenmodell verknüpft worden sind. Ziel der Messkampagne ist es die Symmetrieeigenschaften und die Leitfähigkeitsverteilung des Rodderberg-Vulkans zu untersuchen.

Aufgrund der Rotationssymmetrie werden die Eigenpotentiale radial von einer Basissonde im Zentrum des Vulkans an der Forschungsbohrung ROD11-1 nach aussen hin gemessen. Zum Einsatz kommen nichtpolarisierbare Ag/AgCl Elektroden. Der Messpunktabstand beträgt ca. 10 m.

Die erste Ergebnisse zeigen eine nicht rotationssymmetrische Struktur, die mit der RMT-Messung überprüft wird. Die RMT-Messung erfolgt auf zwei parallelen Profilen von West nach Ost senkrecht zum Streichen der geologischen Struktur.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.015**

### *Durchführung und Interpretation von Bohrlochmessungen mit der Geonics BH43-3D TEM-Sonde*

**Eifert, A.\*, Börner, R.-U., Spitzer, K.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Es werden transientelektromagnetische Bohrlochmessungen vorgestellt, die mit der *Geonics* BH43-3D Sonde, die mit drei orthogonalen Empfängerspulen und zwei Tiltmetern zur Rotationskorrektur ausgestattet ist, durchgeführt wurden. Da diese aus Sicht des Instituts für Geophysik und Geoinformatik der TU Bergakademie Freiberg den ersten Einsatz der Sonde in einem Bohrloch darstellen, stehen v.a. das Testen der Messparameter und der Nachweis der Reproduzierbarkeit der Messungen im Vordergrund, um eine solide Basis für nachfolgende Arbeiten zu schaffen. Das untersuchte Bohrloch befindet sich direkt auf dem Campusgelände, was infolge der Einflüsse, die eine urbane Umgebung mit sich bringt, zu einem hohen elektromagnetischen Rauschpegel führt. Weitere Störfaktoren ergeben sich durch die Stahlverrohrung im oberen Teil des vertikalen Bohrlochs. Die fehlende Neigung führt zu Rotationen der Sonde um ihre Längsachse und damit zu ständig wechselnder Orientierung der horizontalen Empfängerspulen. Die daher notwendige Rotationskorrektur sollte im vertikalen Bohrloch aufgrund zu erwartender Ungenauigkeiten nicht mit Hilfe der Tiltmeter, sondern mit Hilfe des Primärfeldes erfolgen. Daher stellt diese Arbeit eine Weiterentwicklung der vorhandenen in-house Rotationskorrektur vor und zeigt, dass damit die Reproduzierbarkeit von Messungen in vertikalen Bohrlöchern untersucht und in diesem Fall auch nachgewiesen werden kann. Der große Vorteil des verwendeten Bohrlochs liegt in der großen Zahl an Daten von diversen anderen Bohrlochsonden, die bereits im Vorfeld der Messungen ein detailliertes Bild der Untergrundverhältnisse liefern konnten und aus denen ein einfaches 1D-Modell der spezifischen elektrischen Widerstände der verschiedenen klüftigen Gneiseinheiten abgeleitet wird. Die per Vorwärtsmodellierung bestimmte transiente Antwort dieses Modells wird mit den Messdaten verglichen, um letztere zu interpretieren. Dabei wird deutlich, dass Stahlverrohrung und/oder weitere Inhomogenitäten zu Abweichungen führen, die letztlich nicht vollständig durch die Anpassung des 1D-Modells erklärt werden können und damit Anlass für zukünftige 3D-Simulationen geben, die den verrohrten Bereich berücksichtigen.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.016**

*Development of an E-field data logger and first tests.*

**Schmalzl, J.\*, Lindau, T., Böhmer, B., Ueding, S., Becken, M.**

Institut für Geophysik, Universität Münster, Münster, Deutschland

When carrying out MT measurements both the magnetic field (which is the source) as well the induced electric field (the response) are recorded. The spatial variation of the magnetic field is generally much smaller than those of the electric field. Therefore it is often sufficient to record the magnetic field variations more sparsely than the electric field variations. The electrical field variations however reflect the conductivity variations in the ground and therefore a high spatial resolution is desirable. While complete MT stations are readily available on the market lightweight affordable E-field data logger are not. Over the course of two years we have therefore developed a high precision (32bit) data logger. In this talk we will present the final layout of the E-field data-logger and discuss the used components. First test measurements will be presented and comparisons to existing MT stations will be shown. After finishing the ongoing tests this new equipment will be used in different ongoing and upcoming projects.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.017**

*Datenanalyse von mit hochfrequenten Störsignalen belasteten, magnetotellurischen Zeitreihen*

**Hering, P.\*, Junge, A.**

Institut für Geowissenschaften, Goethe Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

Im August 2013 wurden im Westerwald bei Neuhöfchen in der Nähe von Wissen audiomagnetotellurische Messungen vorgenommen. Das Messgebiet befand sich über einer geologischen Störungszone mit steilstehenden Schiefern im oberflächennahen Bereich. Ziel der Messkampagne war zum einen die Detektion dreidimensionaler, anisotroper Leitfähigkeitsstrukturen sowie der Vergleich mit im selben Gebiet durchgeführten geoelektrischen Messungen. Es wurden vor allem hochfrequente Signale zwischen 160 Hz und 8 kHz untersucht, welche erwartungsgemäß stark mit Störsignalen belastet waren. Die robuste bivariate Auswertung der Daten über eine bewichtete Selektion von kurzen Teilintervallen der gesamten Zeitreihe führte hierbei zu unbefriedigenden Ergebnissen, vor allem hinsichtlich viel zu gering ausfallender Phasenwerte der Übertragungsfunktionen. Als Alternative wurden in einer univariaten Auswertung aus den Rohspektren der bandpass gefilterten Gesamtzeitreihen die Phasen innerhalb gezielt ausgewählter Frequenzbereiche berechnet. Die Ergebnisse zeigen signifikante Verbesserungen der Phasenwerte und ermöglichen eine weiterführende Interpretation der Daten.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.018**

*Anwendung fokussierender Tiefenmigrationsverfahren bei der Detektion von Blindgängern mittels Bohrloch-GPR*

**Hellwig, O.\*, Linke, M., Forkmann, B.**

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Noch immer stellen Kampfmittel aus dem Zweiten Weltkrieg eine ernstzunehmende Gefahr dar. Vor allem bei Bauarbeiten in Großstädten und Industriegebieten, die Schwerpunkte von Bombenangriffen waren, werden regelmäßig Blindgänger entdeckt. Erst eine zuverlässige Detektion ermöglicht die Entschärfung und Beseitigung dieser Gefahrenquelle. Bei der Suche nach Blindgängern kommen zahlreiche Verfahren der oberflächennahen, angewandten Geophysik zum Einsatz, die auf die Wirkung von eisenhaltigen Bestandteilen der Kampfmittel abzielen. Allerdings erschweren zahlreiche Störeinflüsse in urbanen Gebieten wie Leitungen, Bahngleise oder stahlbewehrte Bauwerke eine zuverlässige Detektion. Das Georadar hat sich als erfolgreiches Verfahren etabliert, da es eine räumliche Zuordnung von Diffraktionen bzw. Reflexionen zu Störkörpern in bis zu mehreren Metern Entfernung erlaubt. Die Interpretation der Radargramme beschränkt sich allerdings häufig auf die Identifikation von Diffraktionshyperbeln, was die Zuverlässigkeit der Detektion in der Umgebung von anderen Störobjekten oder in der Nähe des

Grundwasserspiegels einschränkt. Aus diesem Grund ist die Anwendung moderner Tiefenmigrationsverfahren unerlässlich. Anhand eines synthetischen Bohrlochradar-Datensatzes zeigen wir, dass ein hinreichend gutes Tiefenabbild schon mit einfachen Geschwindigkeitsmodellen erzielt werden kann. Spezielle fokussierende Tiefenmigrationsverfahren sind damit in der Lage, das Migrationsabbild auf den Teil der Zweiwege-Laufzeit-Isochrone zu begrenzen, der dem tatsächlichen Ort des Diffraktors bzw. Reflektors entspricht. Wir nutzen für diesen Zweck die Kohärenz-Migration, die ein Kohärenzmaß für benachbarte Radargrammspuren über ein Zeitfenster um das zu migrierende Radargramm-Sample als zusätzlichen Wichtungsfaktor benutzt. Damit ermöglicht dieses Verfahren schon bei Akquisitionsgeometrien mit wenigen Sender- und Empfängerpositionen eine hohe Abbildungsqualität, was sich vorteilhaft auf den Messaufwand auswirkt. Neben einer deutlichen Verringerung von Migrationsartefakten besitzt dieses fokussierende Tiefenmigrationsverfahren einen weiteren positiven Nebeneffekt. Die Verwendung des Kohärenzmaßes als Wichtungsfaktor bewirkt zusätzlich eine Unterdrückung von unkorrelierten Störsignalen.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-P.019

### *A joint approach to inversion of DC and TEM data*

**Weißflog, J.<sup>\*1</sup>, Eckhofer, F.<sup>2</sup>, Börner, R.-U.<sup>1</sup>, Eiermann, M.<sup>2</sup>, Ernst, O.<sup>3</sup>, Spitzer, K.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geophysics and Geoinformatics, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>2</sup>Institute of Numerical Analysis and Optimization, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>3</sup>Department of Mathematics, TU Chemnitz, Chemnitz, Deutschland

Within the Geotechnologies Project "Three-dimensional Multi-Scale and Multi-Method Inversion to Determine the Electrical Conductivity Distribution of the Subsurface Using Parallel Computing Architectures" (Multi-EM) funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) we aim to combine TEM and DC resistivity methods in a joint inversion to enhance the overall resolution power.

Every method is associated with a particular sensitivity pattern. By assembling complementary patterns, sub-surface imaging becomes more complete and reliable. We suggest a sequential strategy using finite element methods on unstructured grids that cycles through the different EM methods iteratively. The output of the previous scheme is used as the reference model for the following one. This way, we do not have to determine the full set of regularization parameters at once which is a major difficulty due to their inherent uncertainty.

We show that this approach can be successfully applied to synthetic models. Combining the different properties of the two methods yields a significantly improved resolution over the individual DC or TEM inversions.

## Elektromagnetik/ Georadar EM-P.020

### *A Concept for 3-D Inversion of Helicopter Electromagnetic Data Using a Tensor-based Problem Formulation*

**Scheunert, M.<sup>\*1</sup>, Afanasjew, M.<sup>2</sup>, Börner, R.-U.<sup>3</sup>, Eiermann, M.<sup>2</sup>, Ernst, O.<sup>4</sup>, Spitzer, K.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz Institute Freiberg for Resource Technology, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>2</sup>Institute of Numerical Analysis and Optimization, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>3</sup>Institute of Geophysics and Geoinformatics, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>4</sup>Department of Mathematics, TU Chemnitz, Chemnitz, Deutschland

Helicopter electromagnetic (HEM) measurements allow to manage huge surveys in a very short time. Due to the enormous data and model sizes, laterally constrained 1-D inversion schemes for the entire survey are still state of the art, even for those parts of the survey where 3-D conductivity anomalies are expected.

We introduce a new strategy that is based on the precedent localization of the entire HEM survey to parts which are actually affected by expected local 3-D anomalies. A full 3-D inversion scheme capable of revealing those anomalous conductivity structures is presented that directly benefits from a-priori information, resulting from the localization procedure. We therefore reformulate the discrete forward problem in terms of the secondary electric field, employing either finite difference or finite element methods. For solving the

inverse problem, we apply a straightforward Gauss-Newton method and a Tikhonov-type regularization scheme. The concept allows us to additionally restrict the domain where the inverse problem is solved, acting as an implicit regularization. The derived linear least squares problem is solved with Krylov subspace methods, such as LSQR, that are able to deal with the inherent ill-conditioning. The resulting systems of linear equations subsequently yield expressions for the gradient and approximate Hessian of the minimization problem. Resulting from the unique transmitter-receiver relation of the HEM problem, an explicit representation of the Jacobian matrix is used. We further introduce a tensor-based problem formulation that provides a fast update of the linear system of the forward problem and an effective handling of the sensitivity related algebraic quantities, respectively.

## **Elektromagnetik/ Georadar EM-P.021**

### *3D magnetotelluric inversion: Preconditioning of the KKT system*

**Wilhelms, W.\*, Börner, R.-U., Spitzer, K.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

The all-at-once inversion approach requires no explicit forward calculation, because the forward modelling equations are incorporated in the objective function as constraints. This leads to a huge, so-called Karush-Kuhn-Tucker (KKT) system, which is solved in each step of the iteration procedure to update model parameters, Lagrangian multipliers, and data - all at once. Still, the forward problem needs detailed consideration, because the system matrix of the forward problem is necessary to calculate first and second derivatives for setting up the KKT matrix. We successfully implemented and validated a 3D forward operator. Forming the Hessian, i.e., the matrix containing second derivatives required in a Newton step, is key in the all-at-once approach. Besides regularization, we emphasize the chosen method of calculating the residual. Since the 3D magnetotelluric forward response is represented by two linear independent solutions of equation systems, the data has to be formed as a linear combination of electric field values and their spatial derivatives, the magnetic fields. We reformulate the problem by scaling the measured impedances with the magnetic fields obtained from the forward step, thus eliminating the non-trivial step of forming impedances from numerical results alone. The resulting KKT system can be solved using Krylov subspace projection techniques. In our case preconditioning is indispensable and needs to be implemented in order to achieve a better conditioned system of equations.

# EX Extraterrestrische Physik

## Extraterrestrische Physik EX-1.001

### *Das Induzierte Magnetfeld beim Planeten Merkur*

**Heyner, D.\***

Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Der Merkur besitzt nur ein schwaches globales Dipolfeld und ist als sonnennächster Planet einem dichten Sonnenwind ausgesetzt. Als Konsequenz existiert um den Merkur nur eine kleine Magnetosphäre. In dieser Magnetosphäre können die Felder von internen Quellen wie zum Beispiel vom Dynamo die gleiche Stärke erreichen wie die Felder von äußeren Quellen wie dem Magnetopausenfeld. Auf Grund der elliptischen Bahn um die Sonne verändert sich der Sonnenwinddruck periodisch. Diese Oszillation überträgt sich auf das Magnetopausenfeld im Inneren der Magnetosphäre und somit auch auf das Innere des Planeten. Der Merkur besitzt mit  $2020 \pm 30$  km einen großen Eisenkern relativ zum Planeten (2440 km Radius).

Die Größe dieses Kerns wurde bisher durch Schwerfeldmessungen und Messungen des planetaren Trägheitsmoments bestimmt. Die externen Magnetfeldoszillationen induzieren in der Region der Kern-Mantel-Grenze elektrische Ströme, die wiederum ein zusätzliches internes Magnetfeld in der Magnetosphäre hervorrufen. Dabei beeinflusst die Ausmaße und die elektrische Leitfähigkeit des Kerns die Stärke des induzierten Signals. Die Analyse der Magnetfelddaten der MESSENGER-Mission, die sich zur Zeit im Orbit um Merkur befindet, stellt also eine unabhängige Methode zur Bestimmung der inneren Struktur dar. Zur Zeit wird auch die Hypothese diskutiert, ob über dem Kern noch eine feste eisenreiche Schicht existiert. Diese Schicht sollte sich ebenfalls im induzierten Magnetfeldsignal abzeichnen. In dieser Arbeit werden die ersten Ergebnisse der Inversion der Magnetfelddaten hinsichtlich der inneren Leitfähigkeitsstruktur in der Nähe der Kern-Mantel-Grenze vorgestellt und diskutiert.

## Extraterrestrische Physik EX-1.002

### *Planetare Magnetfelder: Trennung externer und interner Anteile mit einem Adjungierten-Verfahren*

**Nabert, C.\*, Othmer, C., Glaßmeier, K.-H., Heyner, D.**

Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Im Jahr 2022 werden die Raumfahrzeuge der BepiColombo Mission den Merkur erreichen. Mit den beiden Magnetometerexperimenten an Bord der Satelliten wird dann eine detaillierte Vermessung der Magnetfelder in der Umgebung des Merkur möglich sein. Eine Trennung zwischen internen und externen Anteil ist mit dem klassischen Gauß Verfahren nicht möglich, da in der Messumgebung starke elektrische Ströme fließen. Wir wollen daher auf das interne Magnetfeld zurückschließen, indem wir die Wechselwirkung zwischen einem vorgegebenen internen Magnetfeld mit dem Sonnenwind im Messgebiet simulieren. Dabei soll das vorgegebene interne Feld so modifiziert werden, bis die Simulationsergebnisse mit den gemessenen Daten übereinstimmen.

Dieser Optimierungsprozess, in dem die Abweichung von Daten und Simulation minimiert werden soll, kann äußerst effizient mit dem Adjungierten-Verfahren durchgeführt werden.

Wir wollen das Potenzial dieses Ansatzes demonstrieren. Dazu werden wir zunächst das Verfahren mit synthetisch erstellten Daten testen. Weiterhin wollen wir versuchen, dass gut vermessene interne Magnetfeld der Erde aus Satellitenmessungen zu reproduzieren.

## Extraterrestrische Physik EX-1.003

### *Establishing a 'Global Ionospheric Flare Detection System' (GIFDS)*

Wenzel, D.\*, Jakowski, N., Berdermann, J.

German Aerospace Center (DLR), Neustrelitz, Deutschland

Solar flares are sudden radiation bursts on the Sun and can influence technical systems in space or on the ground. As flare events are often related to coronal mass ejections (CMEs), they might announce space weather storms. Therefore, DLR Neustrelitz is establishing a 'Global Ionospheric Flare Detection System - GIFDS' for continuous and reliable monitoring of solar flares affecting the Earth's ionosphere. Solar flares cause an increased ionization of the bottomside ionosphere, which leads to changed propagation conditions of VLF waves. Hence, significant changes in signal strength and phase of VLF measurements indicate the occurrence of a solar flare. The GIFDS receiver, a Perseus SDR (Software Defined Radio), acquires multiple frequency signals in the range of 10 to 60 kHz. If concurrent measurements at different frequencies show a comparable characteristic variation, an X-ray flare is assumed to occur and a warning message will be sent to specified users.

As a ground based VLF station can only measure such a flare during daytime and in order to provide a continuous near real-time warning service, a network of VLF receivers will be implemented around the world. Currently, there are two operational stations: at DLR Neustrelitz and at ISR (Institute for Scientific Research) Boston College.

As there is space based data of the GOES satellite available, the contribution deals with comparisons in signal processing and adjustment, regarding strength, time resolution and validation of derived warnings.



# GD Geodynamik

## Geodynamik GD-1.001

### *Modelling komatiitic melt accumulation and segregation in the transition zone*

**Schmeling, H.<sup>1</sup>, Arndt, N.<sup>2</sup>, Kohl, S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Goethe Universität, Frankfurt am Main, Deutschland, <sup>2</sup>ISTerre, Université Joseph Fourier, Grenoble, Frankreich

Komatiites are produced in very hot mantle upwellings or plumes. At such conditions, melting takes place deep within the upper mantle or even within the mantle transition zone (TZ). Due to its compressibility at such pressures, melt might have a higher density than olivine, but whether it remains buoyant with respect to a peridotitic mantle both above or within the TZ because of the presence of denser garnet is an open question. We studied the physics of melt segregation within hot upwelling mantle passing through the TZ, with particular emphasis on the effect of depth-dependent density contrasts between melt and the ambient mantle. Assuming a 1D plume, we solved the two-phase flow equations of the melt-matrix system accounting for matrix compaction and porosity-dependent shear and bulk viscosity. We assumed a constant ascent velocity leading to a constant rate of melt generation. In a first model series, the level of neutral buoyancy  $z_{\text{neutral}}$  is assumed to lie above the depth of onset of melting, i.e. a region where dense melt may lag behind the solid phases within the rising plume. Depending on two non-dimensional numbers (accumulation number  $Ac$ , compaction resistance number  $Cr$ ) we find four regimes: 1) time-dependent melt accumulation in standing and widening porosity waves that scale with the compaction length, 2) steady-state weak melt accumulation near  $z_{\text{neutral}}$ , 3) no melt accumulation due to small density contrast, 4) no melt accumulation due to high matrix viscosity. In regime 4 the high mantle viscosity prevents the opening of pore space and the accumulation of melt. In a second series, the rising mantle crosses the olivine-wadsleyite phase boundary. A sharp melt fraction contrast develops and a large melt fraction accumulates immediately above the phase boundary. In a third series, a hot 1D plume head is assumed to move through the TZ. Melt percolates upwards and accumulates near the top of the plume head within a very thin layer, reaching up to 100% melt fraction. These models show 1) that not only melt density, but also porosity dependent matrix viscosity controls the melt ascent or accumulation, 2) that there are parameter ranges and physical conditions which may lead to the accumulation of very large melt fractions ( $>$  degree of melting), 3) that in spite of melt being denser than olivine at some depths, in general these melts escape these regions and continue to percolate upward faster than the rising mantle.

## Geodynamik GD-1.002

### *Modellierung der Evolution chemischer Reservoirs unterschiedlicher Dichte in 2D-Mantelkonvektion*

**Ossipov, A.\*, Schmeling, H., Beuchert, M.**

Goethe Universität, Geophysik, Frankfurt am Main, Deutschland

Es wird angenommen, dass im Erdmantel unterschiedliche chemische Reservoirs zu finden sind. Diese entstanden durch die chemische Differenzierung nach der Bildung der Erde und den permanenten Eintrag basaltischer Kruste durch Subduktion. Identifiziert wurden sie beispielsweise als "Large Low Shear Velocity Provinces" oder auch als "Ultra Low Velocity Zones". Hierbei handelt es sich vermutlich um Regionen mit dichter aber heißerer Materie als die Umgebung. Konvektion wird also von kompositionellen und thermischen Auftriebskräften kontrolliert. Diese Studie befasst sich mit den möglichen Moden thermisch-kompositioneller Konvektion in vereinfachten Szenarien, und stellt eine Erweiterung des Konvektionsbenchmarktests (case 1a - 1c) von Blankenbach et al. (1989) dar.

Es wurde das auf MATLAB basierende Programm FEMConR (Beuchert, 2012) verwendet, mit festgelegten Bedingungen an den Rändern und konstanten Temperaturen oben und unten. Als Ausgangsmodell diente eine in zwei ungleich-mächtige, isoviskose Schichten unterteilte (1:9), kartesische Box (1x1). Es wird jeweils eine feste Rayleigh-Zahl ( $Ra$ ) und ein fester kompositioneller Dichtekontrast ( $Br$  = kompositioneller / thermischer Dichtekontrast) angenommen. Die Schichten selbst werden durch ein Markerfeld dargestellt. Es wird das FDM Verfahren (rückwärtige Euler-Schritte) angewandt, wobei mithilfe von FEM der diffusive (nach

Galerkin) und der advective (semi-Lagrangian -Runge-Kutta 4 Ordnung) Part separat berechnet wird. Es wurden drei Modellserien im Parameterraum  $Ra - Br$  durchgeführt, wobei die Topographie der dichten Schicht, der zeitliche Verlauf der Nusselt-Zahl ( $Nu$ ), der RMS-Geschwindigkeit ( $V_{rms}$ ) und des Entrainments bestimmt wurden. Die Größen  $Br$  und  $Ra$  wurden zwischen 0 und 2 bzw.  $1e4$  und  $1e6$  variiert. Es wurden drei unterschiedliche Moden für die Verteilung des dichten Materials gefunden: vollständiges Entrainment und Durchmischung bei niedrigem  $Br$  (Mode 1), Akkumulation in einem Hügel bei mittlerem  $Br$  (Mode 2), und vollständige Bedeckung des Bodens bei hohem  $Br$  (Mode 3). Charakteristische Sprünge von  $Nu$  und  $V_{rms}$  wurden zwischen Mode 2 und 3 gefunden, was auf einen Hitzestau am Boden zurückgeführt werden kann. Eine weitere Mode wurde bei relativ kleinen  $Br$ -Zahlen entdeckt, bei der sich stabile runde Körper dichten Materials bildeten, die auch nach mehrfachen konvektiven Umläufen nicht zerschert wurden.

## Geodynamik GD-1.003

### *Eine porositätsabhängige, semianalytische Viskositätsformulierung für partiell geschmolzene Gesteine mit komplexer Schmelzgeometrie Verteilung*

**Kruse, J.P.\*, Schmeling, H.**

Institut für Geowissenschaften, Arbeitsgruppe Geodynamik/ Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

Die geometrische Verteilung von Schmelze in partiell geschmolzenen Regionen, wie z.B. der Asthenosphäre, hat nicht zu vernachlässigende Einflüsse auf physikalische Prozesse bzw. Eigenschaften, wie z.B. Schmelzsegregation bzw. Schmelzextraktion und rheologische/seismische Eigenschaften. Besonders interessant sind die effektiven Gesteinsmatrixviskositäten (Scher- und Volumenviskosität) eines partiell geschmolzenen Gesteins. Um die Verteilung von Schmelzgeometrien zu bestimmen werden experimentelle Ergebnisse von Faul (1994) bzw. Faul (1997) verwendet. Es wird eine empirische Formulierung für den Zusammenhang zwischen der volumetrischen Schmelzkonzentration und dem Flächenanteil unterschiedlicher Schmelzgeometrien bestimmt. Diese Formulierung beinhaltet ebenfalls eine Verteilungsfunktion der Querverhältnisse (aspect ratio) der Schmelzinklusionen.

Die effektiven Viskositäten der Gesteinsmatrix werden hauptsächlich durch den mechanischen Effekt von weichen Schmelzinklusionen und der sogenannten Short-Circuit-Diffusion (Kurzschlussdiffusion) von Ionen beeinflusst (siehe Cooper (1989) bzw. Hirth & Kohlstedt (1995a)). Es wird ein Modell entworfen, welches den mechanischen Effekt von Schmelzinklusionen nach Schmeling et al (2012) und den Einfluss durch Short-Circuit-Diffusion nach Cooper (1989) für die in Schmeling et al (2012) bzw. Schmeling (1985) verwendeten Geometrien realisiert, sowie die hier entwickelte, empirische Formulierung der Schmelzgeometrie Verteilung nach Faul miteinbezieht. Ein Ziel ist es, die experimentellen Befunde von Hirth & Kohlstedt (1995a) zu dem Verhältnis der Strainraten von nominell schmelzfreiem und partiell geschmolzenem Gestein mit dem oben erwähnten Modell anzunähern. Eine signifikante Abnahme der effektiven Matrixviskositäten bei einer nur geringen Schmelzkonzentration wird gefunden, wobei diese weitestgehend konsistent ist mit den experimentellen Befunden. Die hier abgeleiteten, rheologischen Zusammenhänge können z.B. auf numerische 1D-Modelle zur Schmelzakkumulation an der Solidustemperatur oder 2D-Modelle mit Porositätswellen angewandt werden.

## Geodynamik GD-1.004

### *Constraining the rheology of the lithosphere through joint geodynamic and gravity inversion*

**Baumann, T.\*, Kaus, B., Popov, A.**

Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg Universität Mainz, Mainz, Deutschland

Understanding the physics of lithospheric deformation requires good constraints on lithospheric rheology and in particular on the effective viscosity. Typically, rheology is determined from laboratory experiments on small rock samples, which are extrapolated to geological conditions - an extrapolation over 10 orders of magnitude in deformation rates. Ideally, we thus need a new independent method that allows constraining the effective rheology of the lithosphere directly from geophysical data, which is the aim of this work.

Our method uses the fact that the geodynamically controlling parameters of lithospheric deformation are its effective viscosity and density structure. By appropriately parametrising the rheological structure of the lithosphere we perform instantaneous forward simulations of present-day lithospheric deformation scenarios with a finite element method to compute the gravity field as well as surface velocities. The forward modelling results can be compared with observations such as Bouguer anomalies and GPS-derived surface velocities. More precisely, we automatise the forward modelling procedure with a Markov-Chain Monte Carlo method, and in fact solve a joint geodynamic and gravity inverse problem. The resulting misfit can be illustrated as a function of rheological model parameters and a more detailed analysis allows constraining probabilistic parameter ranges.

Yet, the lithosphere has non-linear rheologies that can be plastic or temperature-dependent powerlaw creep depending on stresses. As the thermal structure of the lithosphere is in general poorly constrained, and only affects the dynamics of the lithosphere in an indirect manner, we developed a parameterised rheology that excludes a direct temperature dependency. To test the accuracy of this approximation we perform lithospheric-scale collision forward models that incorporate a temperature-dependent visco-plastic rheology to create synthetic surface observations. In a second step, we deploy these synthetic data sets to perform the joint inversion, using our simplified parameterised rheology. Results show that we can recover the rheology of the lithosphere reasonably well, provided that lithospheric layers contribute to the large-scale dynamics. In addition, we will show a 2D application of the India-Asia collision system.

#### *Acknowledgements*

Funding was provided by the ERC under the European Community's Seventh Framework Program (FP7/2007-2013) / ERC Grant agreement #258830

## GD Geodynamik Poster

### Geodynamik GD-P.001

#### *Symmetric versus asymmetric spreading and rifting: The role of visco-plasticity and viscosity dissipation*

**Maul, H.\*, Scarcella, A., Schmeling, H.\*, Weismüller, C.**

Institut für Geowissenschaften, Goethe Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

Mid-oceanic ridges (MOR) usually appear as symmetric structures, i.e. they exhibit symmetric accretion and they migrate with half of the total spreading velocity. Observed deviations from this symmetry are minor, of the order of 10%. Contrary, equivalent divergent features on lava lakes show both, symmetric and asymmetric ridges. For continental rifts, asymmetric ("simple shear") and symmetric ("pure shear") modes are well known and their controlling mechanism has been identified as being strain softening. We present numerical experiments of continental and oceanic lithosphere extension assuming visco-plastic rheology (without strain softening) to study the conditions leading to symmetric or asymmetric rifting or spreading, including self-consistent ridge migration.

In a first set of experiments we solve the time-independent momentum and mass equations for a simple isothermal homogeneous lithosphere with Mohr-Coulomb-plasticity and with a weak elliptical seed using COMSOL. The seed is essential to generate ductile failure along shear zones initiated at the seed. We vary the aspect ratio and orientation of this seed and determine the integrated viscous dissipation due to the

formation of shear zones. We observe a transition from symmetric conjugate shear zones to a strongly asymmetric, single shear zone rifting mode when increasing the friction angle from almost zero to 0.6, when increasing the aspect ratio of the seed and rotate it towards 45° with respect to extension. This transition is accompanied with a clear reduction of dissipation energy in accordance with the Helmholtz principle.

In a second set of experiments using FDCON, MORs are modelled including also the heat equation and a non-linear olivine-based rheology together with a simplified Byerlee type plasticity (using the lithostatic pressure with a pore-pressure coefficient). We apply a total spreading velocity  $v_0$  but partition this velocity as  $(c-1)*v_0/2$  and  $c*v_0/2$  as the lateral boundary condition at the left and right boundaries, respectively, varying  $c$  between 0 and 1. Symmetric spreading is obtained for  $c= 0.5$ , while asymmetric spreading and ridge migration is obtained for  $c$  different from 0.5. For low pore-pressure coefficients even strongly asymmetric boundary conditions lead to symmetric spreading. We therefore speculate that volatiles such as water or melts significantly weaken the rheology at MORs and effectively reduce the friction angle (unlike in lava lakes).

## Geodynamik GD-P.002

### *On the study of the passive margins from the Satellite gravity signals*

**Haas, P.\*, Shahraki, M., Schmeling, H.**

Institut für Geowissenschaften,, Goethe Universität, Frankfurt a.M., Deutschland

Geoid signals give information about the underlying density structure, and it can be used to study the underlying tectonic processes and mechanical state of the lithosphere or mantle. Recently satellite missions including GRACE and GOCE provide new data sets of hitherto unreached resolution. Therefore we reinvestigate the gravity field at specific lithospheric locations, namely passive continental margins. Passive margins are the result of continental rifting and depending on their age, are bounded by oceanic lithosphere of various ages. We calculate the geoid variations associated with transition from the ocean to the continental lithosphere for spherical harmonics up to degree and order 230. Indeed, in comparison with the interior continents and mid-ocean ridges, the geoid variations associated with continental margins are far less clear. We applied a simple approach in order to determine the step and slope of the geoid from the ocean to the continental lithosphere. On the basis of averages taken along various passive margins, we show that a number of continental margins are characterized by distinct positive anomalies of the order 6-10 meters across the transition from the ocean basin to a sea-level continent. We classify the profiles and slopes with respect to their heights and widths and try to relate these with various tectonic regimes or age of adjacent oceans. Moreover, we relate the observed geoid anomalies across the continental margins to constrain the associated states of structural stresses.

## Geodynamik GD-P.003

### *Fallstudie über Fluid-induzierte Deformationen*

**Salomon, C.\*, Jahr, T., Bleibinhaus, F.**

Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland

Das Gebiet Vogtland/NW-Böhmen ist eine seismisch sehr aktive Region. In zeitlich unregelmäßigen Abständen zwischen etwa 3 und 8 Jahren treten dort Schwarmbeben mit Magnituden bis  $M_L=5.0$  auf. Speziell in der Umgebung von Nový-Kostel finden im Bereich der Mariánské-Lázne-Störung und der Pocatky-Plesná Störungszone vermehrt Schwarmbeben statt. Als möglicher Auslösemechanismus dieser Schwärme kommen Fluidmigrationen in der Kruste in Betracht. Durch zahlreiche Messungen an Mofetten und Mineralquellen ist ein unregelmäßiger, aber dennoch hoher Ausstoß von  $CO_2$ -Gas gemessen worden das aus dem Erdmantel stammt. Wir vermuten, dass sich diese Fluide beim Aufstieg durch die spröde Kruste an versiegelten Klüften so lange aufstauen, bis der Fluidruck die effektive Normalspannung an der Kluft so weit herabsetzt, dass ein Beben ausgelöst wird. Wenn dem so ist, könnten die in der Tiefe aufgestauten Fluide an der Oberfläche ein Deformationssignal erzeugen.

Aus vorangehenden Untersuchungen, beispielsweise an der kontinentalen Tiefbohrung (KTB) in der Oberpfalz, ist bekannt, dass es durch Fluidinjektionen im Untergrund zu Deformationen der Oberfläche kommt. Für die Messung dieses Effektes sind hochauflösende Bohrloch-Neigungsmesser erforderlich, welche Neigungsänderungen im Nanorad-Bereich wahrnehmen können.

Unsere Arbeit dient der Abschätzung dieser Neigungsänderungen mit Hilfe des Programms POEL (Wang und Kümpel 2003). Das Programm ermöglicht es, auf Grundlage der Poroelastizitätstheorie, unter anderem auftretende Spannungen und den Porendruck im Gestein sowie die Oberflächenneigung für ein Mehrschichtmodell zu berechnen. Obwohl über die zur Modellierung des Vogtlandgebietes benötigten Parameter relativ wenig bekannt ist, konnte unter realistischen Annahmen ein Katalog erstellt werden, der Zusammenhänge zwischen der  $CO_2$ -Entgasung, den Untergrundparametern sowie der Oberflächendeformation aufzeigt. Dies wurde mittels einer Fallstudie über die anzunehmenden Gesteinsschichten als auch den  $CO_2$ -Fluss untersucht.

Die Modellierungen zeigen, dass die zu erwartenden fluid-induzierten Deformationen der obersten Erdkruste mit einem hochsensiblen Neigungsmesser-Array nachweisbar sein sollten.

## Geodynamik GD-P.004

### *Discontinuous Galerkin Approaches for Stokes Flow and Flow in Porous Media*

**Lehmann, R.\*<sup>1,2</sup>, Kaus, B.<sup>1,2</sup>, Lukáčová-Medvid'ová, M.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Max Planck Graduate Center, Mainz, Deutschland, <sup>2</sup>Institute of Geosciences, Johannes Gutenberg University, Mainz, Deutschland

Firstly, we present results of a study comparing two different numerical approaches for solving the Stokes equations with strongly varying viscosity: the continuous Galerkin (i.e., FEM) and the discontinuous Galerkin (DG) method. Secondly, we show how the latter method can be extended and applied to flow in porous media governed by Darcy's law.

Nonlinearities in the viscosity or other material parameters can lead to discontinuities in the velocity-pressure solution that may not be approximated well with continuous elements. The DG method allows for discontinuities across interior edges of the underlying mesh. Furthermore, depending on the chosen basis functions, it naturally enforces local mass conservation, i.e., in every mesh cell. Computationally, it provides the capability to locally adapt the polynomial degree and needs communication only between directly adjacent mesh cells making it highly flexible and easy to parallelize.

The methods are compared for several geophysically relevant benchmarking setups and discussed with respect to speed, accuracy, computational efficiency.

# GE Geoelektrik/ IP

## Geoelektrik/ IP GE-1.001

*Induzierte Polarisation: Erklärung durch empirische oder mechanistische Modelle?*

**Weller, A.<sup>\*1</sup>, Slater, L.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TU Clausthal, Institut für Geophysik, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland, <sup>2</sup>Rutgers University, Newark, USA

Auch 100 Jahre nach der Entdeckung der Induzierten Polarisation (IP) durch Conrad Schlumberger gibt es noch viele ungelöste Fragen zu den Ursachen der Polarisierungseffekte. In den letzten fünf Jahren wurden in schneller Abfolge zahlreiche Beiträge mit mechanistischen Modellen zur Erklärung der Ursachen der induzierten Polarisation veröffentlicht. Dabei stehen auf der einen Seite Modelle, die von einer Polarisation von einzelnen Gesteinspartikeln ausgehen. Auf der anderen Seite finden sich Erklärungen, die die Ursache der Induzierten Polarisation eher in der Veränderung von Porenquerschnitten und damit in der Mobilität der Ladungsträger sehen. Bei beiden Ansätzen sind zahlreiche Parameter erforderlich, um die Modelle an die gemessenen IP-Daten anzupassen. Einige dieser Parameter sind weitgehend unbestimmt und stellen daher eine Unsicherheit bei einer praktischen Anwendung der Modelle und bei der Interpretation von IP-Messungen dar.

Neben den mechanistischen Modellen wurden empirische petrophysikalische Beziehungen gefunden, die ähnlich der klassischen Archie-Gleichung zuverlässige Zusammenhänge zwischen IP-Parametern und grundlegenden physikalischen Eigenschaften von Gesteinen unterschiedlicher Zusammensetzung beschreiben. Alle Gesteinsmodelle müssen an umfangreichen Datensätzen, die mit großer Sorgfalt und unter nachvollziehbaren Bedingungen gemessen und ausgewertet wurden, überprüft werden. Nur auf diese Weise wird es möglich sein, den Anwendungsbereich für die einzelnen Modelle einzugrenzen und die physikalischen Ursachen der Polarisation besser zu verstehen.

## Geoelektrik/ IP GE-1.002

### *Untersuchung des Einflusses der Porenhalsgröße auf SIP-Spektren*

**Kruschwitz, S.<sup>\*</sup>, Niederleithinger, E.<sup>\*</sup>**

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland

Das Sorptionsverhalten und die Frost-Tau-Beständigkeit von Baustoffen hängen maßgeblich von ihrer Porengrößenverteilung ab. Ein zerstörungsfreies, räumlich visualisierendes Messverfahren, das diese abschätzen könnte, wäre für die Bau- und Sanierungsindustrie sehr hilfreich. Scott und Barker (2003) berichteten über einen deutlichen Zusammenhang zwischen dominanter Porenhalsgröße und der SIP-Relaxationszeit an Sandsteinen. Diese Korrelation wird seit einiger Zeit für Baustoffe, insbesondere Sandsteine, an der BAM untersucht. In Kruschwitz et al. (2010) wurde diese Beziehung dann für einen größeren Probandensatz unter Einbeziehung der verfügbaren Literaturwerte nachvollzogen, und so ein deutlich breiteres textuelles Spektrum abgedeckt. In dieser Studie zeigte sich der erwartete Zusammenhang nicht eindeutig. Inzwischen erfolgten Messungen an einem erweiterten Probandensatz (hauptsächlich wieder Sandsteine) mit zum Teil höherer Auflösung, die v.a. bessere Informationen über den hochfrequenten Teil der Spektren zulassen. Interessant sind vor allem zwei Beobachtungen: zum einen gibt es Proben, die einen einzigen signifikanten Peak in der Porenradienverteilung haben, aber zwei deutliche Phasenmaxima im Frequenzspektrum aufweisen. Zum anderen scheint es eine "Übergangszone" von Porenhalsgrößen im Bereich 1-10 µm zu geben, in dem unklar ist, wovon die Relaxationszeit abhängt. Beide Phänomene sind mit dem bisherigen Relaxationsmodell, das auf Schwartz (1962) und Schurr (1964) zurückgeht, nicht zu erklären. Aktuell wird der Einfluss von Mineralzusammensetzung ebenso wie weitergehende geometrische Porenraumeigenschaften in Dünnschliffen untersucht. Mögliche Ursachen für die beobachteten Phänomene werden diskutiert.

#### Literatur

Kruschwitz, S., Binley, A., Lesmes, D. and A. Elshenawy, 2010, Textural controls on low-frequency electrical spectra of porous media, *Geophysics*, 75 (4), doi: 10.1190/1.3479835

Scott, J. and Barker, R., 2003, Determining pore-throat size in Permo-Triassic sandstones from low-frequency electrical spectroscopy, *Geophysical Research Letters*, 30 (9), doi: 10.1029/2003GL016951

Schurr, J. M., 1964, On the theory of the dielectric dispersion of spherical colloidal particles in electrolyte solution, *Journal of Physical Chemistry*, 68, 2407-2413

Schwarz, G., 1962, A theory of the low-frequency dielectric dispersion of colloidal particles in electrolyte solution, *Journal of Physical Chemistry*, 66, 2636-2642

## Geoelektrik/ IP GE-1.003

### *Messungen der Temperaturabhängigkeit der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) zur Charakterisierung der Polarisationsmechanismen in Gesteinen*

**Bairlein, K.<sup>\*1</sup>, Bücker, M.<sup>2</sup>, Hördt, A.<sup>1</sup>, Nordsiek, S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland,

<sup>2</sup>Abteilung Geodynamik/ Angewandte Geophysik, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Bei Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) muss unter anderem die Temperaturabhängigkeit der komplexen elektrischen Leitfähigkeit berücksichtigt werden. Diese ist sowohl bei oberflächennahen Messungen, bei denen witterungs- und jahreszeitlich bedingte Schwankungen der Temperatur auftreten, als auch für Messungen in größeren Tiefen, wo die Temperatur mit der Tiefe zunimmt, von Bedeutung. Die komplexe elektrische Leitfähigkeit wird durch verschiedene temperaturabhängige Parameter kontrolliert. Neben der Leitfähigkeit des Porenfluids verändern sich auch die Ionenmobilitäten, die Debye-Länge und das Zeta-Potential mit der Temperatur.

Es wurden Messungen an verschiedenen Sand-, Kalk- und Tonsteinen durchgeführt, bei denen die Temperatur zwischen 0°C und 80°C variiert wurde. Die Ergebnisse zeigen eine leichte Temperaturabhängigkeit der Phasenverschiebung, die sich bei verschiedenen Proben und Salinitäten unterschiedlich verhält.

Zusätzlich wurde ein Modell der Membranpolarisation verwendet, um die Temperaturabhängigkeit theoretisch vorauszusagen. Das Modell vereinfacht den Porenraum als Abfolge von sich abwechselnden engen und weiten zylinderförmigen Poren verschiedener Länge, und bietet damit die Möglichkeit die

Temperaturabhängigkeit bei unterschiedlichen Porengrößen zu betrachten. Der Vergleich von Modell und Messung zeigt, dass eine zu den Messergebnissen qualitativ ähnliche Temperaturabhängigkeit mit dem Modell vorhergesagt werden kann. Mit Hilfe der Porengrößen der Proben und der Salinität des für die Messungen verwendeten Porenfluids können die Messungen auch quantitativ mit den Modellrechnungen verglichen werden.

#### **Geoelektrik/ IP GE-1.004**

##### *3D IP Inversionsprogramm im Zeitbereich: Synthetische Studien und Feldmessungen*

**Großbach, H.\*, Tezkan, B.**

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

Im Rahmen dieses von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Projekts soll ein Algorithmus zur Inversion ganzer IP Zeitreihen in ein 3D Cole - Cole Leitfähigkeitsmodell entwickelt werden.

Mit Hilfe einer Näherung lassen sich die Einschaltantworten schnell und genau im Zeitbereich berechnen. Die Transienten werden für jeden Zeitpunkt mithilfe einer 3D Geoelektrikinversion in ein Widerstandsmodell invertiert, so dass ein zeitabhängiger Widerstand für jede Zelle ermittelt wird. Dieses nun zeitabhängige Geoelektrikmodell lässt sich anschließend für jede Zelle in ein Cole - Cole - Modell invertieren.

In Krauthausen, Düren und im Rurtalgraben, Masseik fanden 2012 und 2013 zwei Messkampagnen mit dem Terrameter LS (ABEM) statt. Es wurden Gradient- und Dipol-Auslagen verwendet. Die Qualität der aufgenommenen Zeitreihen genügt den hohen Ansprüchen des neuen Inversionsprogramms und konnten erfolgreich mit diesem invertiert werden. Das verwendete Programm wurde auf flexible Elektrodenpositionen erweitert und Studien mit synthetischen Daten für verschiedene Elektrodenpositionen und Modelle durchgeführt.

#### **Geoelektrik/ IP GE-2.001**

##### *Zum Nachweis einer elektrischen Widerstandsanisotropie mit Bipol-Quadrupol Geoelektrik Messungen an einem geschieferten Untergrund*

**Rödder, A.\*, Junge, A.**

Institut für Geowissenschaften, Goethe Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

Bei den meistens verwendeten "in-line" Multielektroden Geoelektrik Messungen wird nicht richtungsabhängig gemessen. Mit Bipol-Quadrupol Messungen erhält man Informationen über die Richtungsabhängigkeit des elektrischen Feldes, aus der sich der scheinbare spezifische Widerstandstensor berechnen lässt. Dieser ist unter anderem sehr empfindlich gegenüber anisotropen Widerstandsverteilungen.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Nachweis anisotroper elektrischer Widerstandsanomalien mit Hilfe von Bipol-Quadrupol Geoelektrik Messungen und dem scheinbaren elektrischen Widerstandstensor. Dazu wurden zunächst Modellstudien und anschließend Feldmessungen durchgeführt.

Als geologische Repräsentation einer anisotropen elektrischen Widerstandsverteilung wurde ein Messgebiet im nördlichen Westerwald, einem Teil des rheinischen Schiefergebirges, gewählt.

Die Invarianten der Widerstandstensoren zeigen eine starke Elliptizität, wie man sie über einem anisotropen Untergrund erwarten würde. Problematisch ist die starke Abhängigkeit der gemessenen scheinbaren elektrischen Widerstände von der Stromeinspeiseposition. Dies weist auf unterschiedliche Anomalien hin, welche z.B. durch lokale Variationen der Schieferungsstruktur entstehen könnten. Da eine isotrope 3D Inversion nur ca. die Hälfte der Datenpunkte anpasst, wird versucht die Daten mit anisotropen 3D Vorwärtsmodellen zu erklären.



## Geoelektrik/ IP GE-2.002

### *Ein optimiertes Langelektroden-Geoelektrik-Experiment zur großskaligen 3D-Abbildung von Salzwasser-Aufstieg*

**Roncza, M.\*, Günther, T.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Der Aufstieg von Salzwasser, z.B. an Störungszonen, stellt eine Bedrohung der Grundwasser-Speicher dar. Betroffen ist besonders Brandenburg, beispielhaft das Untersuchungsgebiet des Wasserwerks Briesen. Bohrungen können zwar punktuelle Informationen liefern, können aber nichts über die Verbreitung und Herkunft des Salzwassers sagen. Daher ist eine kostengünstige geophysikalische Methode erforderlich, die in der Einzugsgebiets-Skala dreidimensional abbilden kann. Geoelektrik mit stahlverrohrten Bohrungen als Elektroden kann eine großskalige Abbildung der Widerstandsverteilung erzielen.

Das untersuchte Gebiet erstreckt sich über eine Fläche von ca. 3x3 km, in der 25 Bohrlöcher genutzt werden konnten. Zusätzlich wurden in Gebieten mit kleiner Abdeckung zwei Oberflächen-Elektroden ergänzt. Acht neu-entwickelte Datenlogger zeichnen jeweils an 3 Dipolen Potentialdifferenzen mit einer Sampling-Rate von 200 Hz auf und können per GSM angesteuert und ausgelesen werden. Dazu wurden ca. 20 km Potentialkabel verlegt.

Um bestmögliche Auflösung zu erreichen, wurde ein Experimental-Design-Ansatz verfolgt, der auf Basis der Singulärwert-Zerlegung sukzessive diejenigen Stromdipole auswählt, die den größten Zuwachs des Informationsgehaltes liefern. Die 35 wichtigsten Einspeisungen wurden mit einer Hochstromquelle realisiert, die Stromstärken von bis zu 25 A generierte.

Die Auswertung der Zeitreihen erfolgt mit einer Software-Realisierung des Lock-In-Prinzips. Die entstehenden Impedanzen und ihre Fehler wurden mit dem Software-Paket BERT auf einem Dreiecks-Prismen-Netz invertiert. Dazu wurden die Bohrlöcher mit dem Complete Electrode Model (CEM) simuliert, d.h. der Strom über die gesamte Fläche eingespeist und die Potentialfeldverzerrung berücksichtigt. Die Ergebnisse, die gut mit geoelektrischen 2D-Profilen korrelieren, spiegeln die Geologie wider, geben aber auch Hinweise auf die Verbreitung von Salzwasser, das in einigen Bohrungen bereits angetroffen wurde. Messungen der Fluidleitfähigkeit bestätigen die Resultate. Künftige Wiederholungsmessungen sollen Hinweise auf die Fluidynamik und die Gefährdung der Aquifere geben.

## Geoelektrik/ IP GE-2.003

### *Die breitbandige Temperaturabhängigkeit der komplexen elektrischen Leitfähigkeit für Lockermaterialien mit variablem Tongehalt*

**Treichel, A.\*<sup>1</sup>, Binley, A.<sup>2</sup>, Kemna, A.<sup>3</sup>, Esser, O.<sup>1</sup>, Zimmermann, E.<sup>4</sup>, Vereecken, H.<sup>1</sup>, Huisman, J.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland, <sup>2</sup>Universität Lancaster, Lancaster Environment Centre, Lancaster, UK, <sup>3</sup>Universität Bonn, Steinmann-Institut Geodynamik/ Geophysik, Bonn, Deutschland, <sup>4</sup>Forschungszentrum Jülich, Systeme der Elektronik (ZEA-2), Jülich, Deutschland

Die komplexe elektrische Leitfähigkeit ist aufgrund der temperaturabhängigen Beweglichkeit der geladenen Teilchen von der Temperatur abhängig. Dieser Effekt ist in der oberflächennahen Geophysik bereits ein zu berücksichtigender Aspekt, wenn saisonale Temperaturunterschiede in den Messzyklus fallen. Die komplexe elektrische Leitfähigkeit von Sedimenten hat ihre Ursachen in verschiedenen Mechanismen. Zum einen wird der Realteil von sich frei bewegenden Ionen im Elektrolyt bestimmt. Zum anderen wird der Imaginärteil von Polarisationsphänomenen bestimmt, die im Zusammenhang mit elektrischen Doppelschichten (EDS) an der Mineral-Elektrolyt-Grenzfläche auftreten. Die EDS besteht aus der diffusen Schicht, bei der häufig eine Ionenbeweglichkeit wie im freien Elektrolyten angenommen wird, und der Sternschicht mit in der Regel angenommener reduzierter Ionenbeweglichkeit.

Zum besseren Verständnis der Mechanismen in Böden, die für die makroskopische elektrische Leitfähigkeit verantwortlich sind, wurden temperaturabhängige Messungen der komplexen elektrischen Leitfähigkeit mittels der spektralen induzierten Polarisation (SIP) breitbandig durchgeführt. Die Proben stammen aus dem heterogenen Grundwasserleiter am Teststandort Krauthausen oder sind künstliche Sand-Ton-Mischungen. Der Realteil zeigt eine Temperaturänderung von 2% pro K. Die Temperaturabhängigkeit des Imaginärteils bewegt sich auch um 2% pro K; allerdings mit Abweichungen von diesem Wert, und zwar für verschiedene

Frequenzen und für verschiedene Tongehalte. Die Phase zeigt entsprechend kleine Änderungen mit der Temperatur und folgt dem frequenzabhängigen Verhalten des Imaginärteils. Die Anwesenheit von Ton führt zu deutlich veränderten Temperaturverhalten. Die Proben besitzen je nach Material unterschiedliche Kurvenverläufe im Frequenzverhalten der Temperaturabhängigkeit.

Die Ähnlichkeit der Temperaturabhängigkeit von Real- und Imaginärteil interpretieren wir als ein Indiz dafür, dass Real- und Imaginärteil durch Ionenmigration in Gebieten mit ähnlicher Beweglichkeit verursacht werden, was wiederum nahelegt, dass der Einfluss der diffusen Schicht der EDS die Polarisationsphänomene dominiert. Die Variationen in der Temperaturabhängigkeit des Imaginärteils könnten durch sekundäre Beiträge der Sternschicht, wo eine reduzierte Ionenbeweglichkeit angenommen wird, hervorgerufen sein, insbesondere weil die Eigenschaften der Sternschicht materialabhängig sind.

## **Geoelektrik/ IP GE-2.004**

### *Geoelektrische Modellierung zur Charakterisierung eines Grundwasserleiters*

**Meyer, R.<sup>1</sup>, Sauter, M.<sup>1</sup>, Weller, A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Angewandte Geologie, Georg-August-Universität, Göttingen, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geophysik, Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland

Oberflächennahe geophysikalische Untersuchungsmethoden finden immer mehr Anwendung bei hydrogeologischen Fragestellungen. Sie stellen bei vergleichsweise geringem Aufwand zusätzliche Informationen bereit, die genutzt werden können, um hydraulische Parameter über einen größeren Bereich eines Grundwasserleiters zu bestimmen.

In der aktuellen Fallstudie im Testfeld Stegemühle wurden zwölf parallele, jeweils etwa 100 m lange Profile mit einem Elektrodenabstand von 0,5 m in der Halb-Wenner Elektrodenkonfiguration gemessen. Das Testfeld befindet sich südlich von Göttingen und weist einen Kies-Sand Aquifer mit z.T. gespannten Verhältnissen auf. Dank zahlreicher Untersuchungen im Testgebiet liegt ein umfassender Satz von geologischen und hydrogeologischen Daten vor, der zur Kalibrierung und Verifizierung des geoelektrischen Widerstandsmodells genutzt werden konnte.

Mit Vertikaler Elektrischer Sondierungen (VES) sowie 2D und 3D Inversionen konnte ein Widerstandsmodell des Grundwasserleiters erstellt werden. Zur Datenanalyse wurde kommerzielle (res2/3Dinv) und nicht kommerzielle Software (VES4, AC2DSIRT) verwendet. Die Interpretation geoelektrischer Modelle ist aufgrund des Äquivalenzprinzips mehrdeutig. Die Schichtmächtigkeit und der Schichtwiderstand können nicht gleichzeitig eindeutig bestimmt werden. Um diese Mehrdeutigkeit aufzulösen, wurden Vorabinformationen über geologische und hydrogeologische Verhältnisse aus Bohrprofilen und Leitfähigkeits-logs zur Kalibrierung der Sondierung und Erstellung eines Startmodells genutzt. Die Inversion mit kalibriertem Startmodell erbrachte dabei deutlich bessere Ergebnisse bezüglich Fehler (RMS) und geologischer Übereinstimmung. Außerdem wurde ein feldspezifischer linearer Zusammenhang zwischen elektrischem Widerstand und hydraulischer Leitfähigkeit an sechs Brunnenlokalationen bestimmt. Dieser Zusammenhang wurde genutzt, um die Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeit über das gesamte Testgebiet zu extrapolieren. Die Fallstudie in einem Kies-Sand Aquifer verdeutlicht, wie wichtig die Einbeziehung geologischer und hydrogeologischer Vorabinformationen ist, um so das Ergebnis geoelektrischer Inversionsmodelle verbessern und die Mehrdeutigkeit der Dateninterpretation verringern zu können. Der erhaltene Zusammenhang zwischen elektrischen und hydraulischen Parametern zeigt einen geeigneten Weg für eine verlässliche Charakterisierung granularer poröser Grundwasserleiter.

## **Geoelektrik/ IP GE-2.005**

### *A New Numerical Pore-Scale Model of Membrane Polarisation*

**Undorf, S.\*, Kemna, A., Bucker, M.**

Steinmann Institut, Geodynamik/Geophysik, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Spectral induced polarisation (SIP) is a promising geophysical technique. Although it is often used, no widely accepted theory of the mechanisms leading to the measured frequency-dependent IP effect is established. Especially the quantitative link between the macroscopic effects and microscopic properties, such as pore geometry, is not sufficiently known. We present a 3-D numerical model of membrane polarisation -one often

discussed polarisation mechanism in porous rocks originating the IP effect- which contributes to a better understanding of the mechanisms involved.

In membrane polarisation models, the migration of ions in the fluid-filled pore space in response to an applied AC voltage is considered. Existing analytic descriptions assume a sequence of active and passive zones, where the counter-ion mobility is reduced in active zones; they partly include some properties of the electric double layer (EDL) as essential source of the IP effect, as well as the finite pore width. Numerical models based on this conception have also been considered. Each of these models is either 1-D, or assumes a reduced counter-ion mobility in the EDL, or both, thus has strong physical limitations, which are overcome by our model.

Our model consists of a 3-D cylindrical pore system, where a fixed surface potential at the pore surface causes a dynamic EDL to build up. Simulations are run at different frequencies of the AC voltage in order to assess the spectral behaviour of ion fluxes within the 3-D pore system, and thus to obtain the frequency-dependent impedance of the rock system.

The model is implemented both in time and frequency domain. It is solved for systems of alternating wide and narrow pores with varying ratios of width and length, and the obtained impedance spectra are compared to existing analytic solutions. The model is also solved for a grain-based pore geometry, and the resulting impedance spectra are compared to existing analytic expressions for those of colloidal suspensions. The frequency-dependent spatial distribution of the ions is analysed and the results found consistent with existing numerical studies. Further analyses are made, e.g. evaluation of the electric current through the pore. In the future, the model will be used to study pore-scale SIP signatures of rocks with multiphase pore fillings, such as water-air, water-NAPL (non-aqueous phase liquid), and water-ice, as relevant for hydrogeological, environmental, and cryospheric applications of SIP.

## Geoelektrik/ IP GE-3.001

### *Laboruntersuchungen zur komplexen Leitfähigkeit an Metall-Quarzsand-Gemischen*

**Hupfer, S.<sup>\*1</sup>, Martin, T.<sup>1</sup>, Kuhn, K.<sup>2</sup>, Noell, U.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Geophysikalische Erkundung - Technische Mineralogie, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Ziel des vom BMBF geförderten r<sup>3</sup>-Verbundprojektes ROBEHA sind die Erkundung und Bewertung stillgelegter Bergbauhalden zur Abschätzung des möglichen Rohstoffpotentials. Dabei werden die Halden geophysikalisch untersucht (Beitrag I: Geophysikalische Erkundungen zur Rohstoffabschätzung stillgelegter Bergbauhalden), u.a. auch mit dem Verfahren der Spektral Induzierten Polarisation. Um zu klären, inwieweit die auf den Halden zu erwartenden Minerale sich auf das SIP-Signal auswirken, wurde eine Laborversuchsreihe mit Pyrit, Galenit und Sphalerit-Quarzsand-Gemischen durchgeführt. Diese wurden in unterschiedlichen Konzentrationen und Korngrößen untersucht. In einer eigens neu entwickelten Messzelle für Lockermaterial (siehe Poster) wurden die synthetischen Proben vollgesättigt und temperaturkonstant untersucht. Erste Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen, dass es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Konzentration der Minerale und dem Phasenmaximum sowie zwischen der Korngröße der Minerale und der Frequenz des Phasenmaximums gibt. Selbst für eine 0,5-% Konzentration von Pyrit in Quarzsand lassen sich noch Phasen von ca. 7 mrad messen. Auch im spezifischen Widerstand lässt sich eine Abhängigkeit von der Korngröße beobachten. Umso feiner die Minerale sind, desto geringer ist der spezifische Widerstand.

# GE Geoelektrik/ IP Poster

## Geoelektrik/ IP GE-P.001

### *Kapazitive Geoelektrik- Erste Feldmessungen auf der Zugspitze (Deutsche/Österreichische Alpen)*

**Przyklenk, A.<sup>\*</sup>, Hördt, A.**

Institut für Geophysik und extraterrestische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Die Kapazitive Geoelektrik ist im Vergleich zur etablierten Gleichstromgeoelektrik eine relativ neue Methode zur Bestimmung oberflächennaher komplexer Impedanzen. Neben dem scheinbaren spezifischen Widerstand kann auch die elektrische Permittivität ermittelt werden, was besonders in von Wasser dominierten Arealen vorteilhaft ist. Die Stromeinspeisung erfolgt anstelle von Spießen mit flachen isolierten Elektroden. Jede Elektrode bildet dann eine Art Plattenkondensator mit der Oberfläche des untersuchten Untergrundes. Es werden Frequenzen im niedrigen Radiobereich (100-100kHz) verwendet, so dass die Plattenkondensatoren durchlässig werden. Da eine gute Ankopplung auch an resistive Untergründe möglich ist, eignet sich die Methode besonders gut für Untersuchungen von hartem Festgestein, Permafrost oder extraterrestrischen Objekten wie Monden oder Kometen.

Es werden erste Ergebnisse von Feldmessungen mit unserem Prototypen "Chameleon" (Radic Research) gezeigt, die im September 2013 auf der Zugspitze durchgeführt wurden. Untersucht werden Bereiche aus gefrorenem Festgestein, das zum Teil mit einer Schicht Wassereis (ca. 10cm und 1m) bedeckt sind. Wir haben zum ersten Mal mit der Chameleon die elektrischen Parameter eines periglazialen Gebiets bestimmt. Der spezifische Widerstand liegt bei ca. 1 Megaohm und die relative Permittivität variiert je nach Frequenz zwischen ca. 100 und 10 und ist mit Literaturwerten konsistent. Es ist wünschenswert die elektrischen Parameter allein aus dem Betrag zu bestimmen, da die Phase der gemessenen Impedanz weitaus stör anfälliger ist. Die frequenzabhängige Inversion von Betrag und Phase zeigt, dass der Betrag der komplexen Impedanz genügt, um (frequenzabhängige) elektrische Parameter periglazialer Regionen zu ermitteln.

## Geoelektrik/ IP GE-P.002

### *Geoelektrische Erkundung eines Löss-Körpers bei Remagen*

**Wichert, S.<sup>\*1</sup>, Tezkan, B.<sup>1</sup>, Fischer, P.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, <sup>2</sup>Universität Mainz, Institut für Geographie, Mainz, Deutschland

Die Löss-Paläoboden-Sequenz des Schwalbenberges bei Remagen gilt bislang als eines der vollständigsten terrestrischen Archive im Hinblick auf die Gliederung des MIS 3 oder Interpeniglazials.

Ziel dieser Arbeit ist die genauere Erkundung des Löss-Körpers am Schwalbenberg mit Hilfe einer Multi-Elektroden-Geoelektrik in Zusammenarbeit mit der Geomorphologie (Uni Mainz). Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Abgrenzung zu den unterliegenden Kiesschichten. Damit sollen unter anderem die Bereiche mit der größten Löss-Mächtigkeit ermittelt werden. Vorinformationen zeigten eine Mächtigkeit des Löss-Körpers von ca. 13 Metern, es wurde eine mehr oder weniger horizontale Schichtung vermutet. Eine spätere Bohrung offenbarte jedoch mit 21 Metern punktuell eine deutlich höhere Löss-Mächtigkeit, so dass die Vorstellung der Geomorphologen von einer horizontalen Schichtung in Frage gestellt werden kann.

Zur genaueren Erkundung wurden mehrere Profile mit einer Terrameter SAS 4000 Apparatur und jeweils 64 Elektroden gemessen. Die Datenauswertung zeigt eine klare Abgrenzung zwischen Löss und Kiesschicht in einer Tiefe von 20-25 Metern, stellenweise liegt die Löss-Mächtigkeit sogar bei 30 Metern und mehr. Auch der ansteigende Rand des Rheingrabens ist deutlich zu erkennen.

## Geoelektrik/ IP GE-P.003

*Entwicklung einer 2D FE Vorwärtsrechnung für DCR/IP und RMT mit unstrukturiertem Gitter und Ergebnisse der Feldmessungen auf einem Erzkörper in der Türkei 2013*

**Adrian, J.\*<sup>1</sup>, Tezkan, B.<sup>1</sup>, Candansayar, M.E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland, <sup>2</sup>Department of Geophysical Engineering, Ankara University, Ankara, Türkei

In der geophysikalischen Erzexploration ist es von Interesse, die Leitfähigkeit sowie die Ausmaße eines potentiellen Erzkörpers abzuschätzen. Durch die gemeinsame Anwendung und Interpretation von Gleichstromgeoelektrik (DCR), Induzierter Polarisation (IP) und Radiomagnetotellurik (RMT) soll ein verbessertes Modell im Vergleich zur Einzelinterpretation der drei Methoden erreicht werden. So soll das aus der Joint-Inversion von DCR und RMT Daten erhaltene Leitfähigkeitsmodell als Startmodell für die 2D IP Inversion der Aufladbarkeit verwendet werden. Auf dem Poster wird ein Algorithmus zur 2D Finite Elemente DCR/IP Vorwärtsrechnung mit unstrukturiertem Gitter, welcher zur Zeit an der Universität zu Köln entwickelt wird, vorgestellt. Darüber hinaus fand im August 2013 eine Messkampagne auf einer potentiellen Kupfererz Lagerstätte in der Türkei statt, bei der DCR-, time-domain IP- und RMT-Daten aufgezeichnet wurden. Es werden 2D Inversionsergebnisse der gesammelten Daten vorgestellt, welche mit konventioneller 2D Interpretationssoftware angefertigt wurden. Die Anwesenheit des Erzkörpers wird deutlich durch Bereiche mit einem geringen spezifischen Widerstand bzw. einer erhöhten Aufladbarkeit in den Ergebnismodellen angezeigt.

Diese Arbeit ist Teil des von BMBF und TÜBITAK finanzierten Projekts "Zweidimensionale Joint Interpretation von Radiomagnetotellurik- (RMT), Gleichstromgeoelektrik- (DCR) und Induzierten Polarisations-Daten (IP): Ein Beispiel aus der Erzexploration".

## Geoelektrik/ IP GE-P.004

*Dynamische Widerstandstomographie von Soil Aquifer Treatment für verbessertes Management der künstlichen Grundwasseranreicherung in Israel*

**Haaken, K.\*<sup>1</sup>, Furman, A.<sup>2</sup>, Weisbrod, N.<sup>3</sup>, Kemna, A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geodynamik/Geophysik, Universität Bonn, Bonn, Deutschland, <sup>2</sup>Civil and Environmental Engineering, Technion, Haifa, Israel, <sup>3</sup>Environmental Hydrology and Microbiology, Ben-Gurion University of the Negev, Sde Boker, Israel

Die künstliche Grundwasseranreicherung ist eine innovative Methode im Bereich der Speicherung von Wasserressourcen sowie der Klärung von Abwässern, besonders in ariden und semi-ariden Klimazonen. Soil Aquifer Treatment (SAT; als Methode der künstlichen Grundwasseranreicherung) nutzt die ungesättigte Zone zur weiteren Klärung von behandelten Abwässern. Das Shafdan Projekt in Israel ist ein seit über 20 Jahren erfolgreiches Beispiel im Bereich des SAT. Durch Populationswachstum und eine damit einhergehende Zunahme an Abwässern werden die bestehenden Anlagen jedoch mehr und mehr ausgelastet und der Raum für neue Infiltrationsanlagen ist begrenzt. Um die Infiltration effizienter zu gestalten, muss diese (ortsspezifisch) verstanden werden (u.a. bezüglich des Einflusses von Heterogenitäten). Zur Charakterisierung des Untergrundes und zur Beobachtung des Infiltrationsprozesses werden Monitoring mittels dynamischer Widerstandstomographie (time-lapse ERT) sowie Georadar Messungen in Kombination mit klassischen hydrogeologischen Methoden eingesetzt. Dazu wurde ein Infiltrationsbecken der Größe ca. 200 m x 70 m mit insgesamt 288 Elektroden entlang von 3 Profilen (in 75 cm Tiefe) sowie mit 2 Bohrlochpaaren für Bohrloch-Georadar und Bodenfeuchtesensoren ausgestattet. Im Zeitraum von Oktober 2013 bis Januar 2014 wurden mehrmals ERT Messungen während verschiedener Infiltrationsereignisse durchgeführt. Dabei ist deutlich die Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes, hervorgerufen durch den variierenden Wassergehalt in der ungesättigten Zone, in den geoelektrischen Tomogrammen zu erkennen. Mit Hilfe von Probenanalysen und petrophysikalischen Beziehungen sollen die Tomogramme des spezifischen elektrischen Widerstandes in Wassergehalts-Tomogramme überführt werden. Anhand der Daten aus den Bodenfeuchtesensoren im Becken können die Ergebnisse kalibriert werden. Der Test unterschiedlicher Infiltrationsszenarien in Kombination mit hydrologischen Modellen soll helfen, die Effizienz der Infiltration zu steigern und somit die Versickerung von mehr Abwässern zu ermöglichen.

## Geoelektrik/ IP GE-P.005

*Chameleon: Neuartiges multimethodisches Messsystem zur Messung der elektrischen Impedanz im Labor - und Feldmessstab.*

**Radic, T.\***

Radic-Research, Berlin, Deutschland

Der Einsatz eines multimethodischen Messinstrumentariums zur Bodenuntersuchungen ist heute mehr denn je unverzichtbar geworden. Zum einen weil die Kombination mehrerer unabhängiger Parameter zuverlässigere und aussagekräftigere Daten erwarten lässt als der einzelne Parameter. Kombiniert man etwa das Radiomagnetotellurische mit dem Geoelektrischen Verfahren so lassen sich Hinweise auf eine mögliche anisotrope elektrische Leitfähigkeit gewinnen und eine Fehlinterpretation der Daten einer einzelnen Methode vermeiden. Zum anderen, weil jede Lokalität etwas andere Anforderungen an die Messtechnik stellt. So bedingt z.B. ein versiegelter Boden den Einsatz einer kontaktlos Methode. Um die hohen Anschaffungskosten eines allen Eventualitäten gerecht werdenden Geräteparks zu mindern wird daher immer wieder die Forderung gestellt Messgeräte zu entwickeln die für mehrere Methoden nutzbar sind. Zudem sollen die Messgeräte sowohl im Feld-, als auch im Labormaßstab einsetzbar sein.

Auf einem Poster präsentieren und diskutieren wir die ersten Ergebnisse unseres neuartigen geoelektrischen Messsystems Chameleon. Es wurde ursprünglich für das geophysikalische Institut der TU Braunschweig (Arbeitsgruppe Prof. Hördt) speziell zur kapazitiven Messung der elektrischen Impedanz in einem weiten Frequenzbereich (0.001 - 250.000 Hz) entwickelt. Es zeigte sich jedoch schnell, dass die extremen Anforderungen, die diese Methode an die Hardware stellt, zu einem Messgerät führen, die es bestens auch für eine ganze Reihe weiterer Methoden einsetzbar erscheinen lässt. Zu den technischen Besonderheiten zählen die sehr kleine Eingangskapazität der Messelektronik und die Verwendung von "Probes" zur Potential- und Strommessung, die direkt an den Elektroden positioniert werden können. Bisher haben wir das Messgerät für vier unterschiedliche geoelektrische Methoden erprobt:

- Kapazitive Impedanzmessung (CI)
- Spektrale Induzierte Polarisierung (SIP)
- Radiomagnetotellurik (RMT)
- Very Low Frequency (VLF)

In naher Zukunft ist zudem geplant das 5-kanalige Messsystem auch für quasi kontinuierliche Widerstandsmessungen zu erweitern. Wobei sowohl kapazitive Elektroden als auch rollende (galvanisch gekoppelte) Elektroden zum Einsatz kommen sollen.

Hördt, A., Weidelt, P., and Przyklenk, A., 2013: Contact impedance of grounded and capacitive electrodes, *Geophysical Journal International*, 193, pp. 187-196.

## Geoelektrik/ IP GE-P.006

*Anisotropic Inversion of Induced Polarisation (IP) Data*

**Kenkel, J.\*, Kemna, A.**

Steinmann-Institut, Geodynamik/Geophysik, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Induced polarisation (IP) data recorded at the field scale are usually interpreted using techniques based on isotropic electrical properties, despite the common occurrence of anisotropy in the subsurface. We propose an anisotropic IP inversion algorithm to overcome this limitation.

Our approach is based on the established code CRTomo, which supports the inversion of isotropic complex conductivities (magnitude and phase) from 2D frequency-domain IP data. In order to extend this algorithm for the support of anisotropic complex conductivities, we modified the underlying forward modelling, sensitivity and model update implementations.

The extended Finite Element modelling allows for anisotropic complex conductivities assuming the three principal directions  $x$ ,  $y$  and  $z$ . The basis for the iterative model update are sensitivities with respect to the complex conductivities in the different directions, which we simply refer to as anisotropic sensitivities. We outline the calculation of these anisotropic sensitivities and highlight their characteristics in comparison with the isotropic analogues.

The iterative model update algorithm is extended to account for the three principal directions of anisotropy. Here, we introduce a coupling parameter between the complex conductivities in the different directions, which is used to impose a bias on anisotropy for regularization purposes. As a this first approach, we favour

isotropic models by imposing a penalty on anisotropy. The balancing between the usual spatial smoothness constraint and the newly introduced isotropy constraint can be adjusted by a weighting parameter. We demonstrate the effectiveness of the new anisotropic complex conductivity inversion scheme by means of synthetic examples representing different setups and measurement configurations, and we highlight benefits and drawbacks of an anisotropic inversion approach.

## Geoelektrik/ IP GE-P.007

### *Abschätzung bodenhydrologischer Eigenschaften durch Parameter aus Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation*

**Nordsiek, S.<sup>\*1</sup>, Hördt, A.<sup>1</sup>, Diamantopoulos, E.<sup>2</sup>, Durner, W.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland,

<sup>2</sup>Institut für Geoökologie, TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Die Abschätzung der hydrologischen Eigenschaften des Untergrunds mit Hilfe der spektralen Induzierten Polarisation (SIP) ist ein vielversprechender Ansatz, relativ schnell bodenhydrologische Informationen auch über eine größere Fläche zu gewinnen. Für die korrekte Interpretation der komplexen geoelektrischen Messdaten ist die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen bodenhydrologischen Eigenschaften und den aus SIP-Messungen bestimmten Parametern unverzichtbar. Untersuchungen im Labor, die sowohl die Bestimmung bodenhydrologischer Parameter als auch SIP-Messungen umfassen, können helfen, mögliche Zusammenhänge zu finden und zu verstehen.

Wir haben sieben natürliche Bodenproben und eine Mittelsandprobe mit einem engen Korngrößenbereich zwischen 0,4 und 0,8 mm ausgewählt, um im Labor sowohl bodenhydrologische Untersuchungen mit dem Multi-Step-Outflow (MSO) Verfahren bzw. der Verdunstungsmethode als auch SIP-Messungen durchzuführen. Mit Hilfe des van Genuchten-Mualem Modells (für die Ergebnisse der hydrologischen Experimente) und der Debye-Zerlegung (für die SIP-Spektren) ließen sich charakteristische Parameter bestimmen, zwischen denen mögliche Zusammenhänge untersucht wurden. Mit der Beziehung zwischen der mittleren Relaxationszeit und dem van Genuchten-Mualem Parameter  $\alpha$  sowie der Beziehung zwischen dem Ungleichförmigkeitsparameter der Debye-Zerlegung und dem van Genuchten-Mualem Parameter  $n$  wurden zunächst zwei mögliche Zusammenhänge überprüft, die sich auf Grund theoretischer Überlegungen ergeben: Die mittlere Relaxationszeit und  $\alpha$  werden mit der Porengröße in Verbindung gebracht, während der Ungleichförmigkeitsparameter und  $n$  die Breite der Relaxationszeitverteilung bzw. der Porengrößenverteilung beschreiben. Die Überprüfung anhand der Korrelationskoeffizienten zwischen den elektrischen und bodenhydrologischen Parametern zeigte, dass die beiden erwarteten Zusammenhänge von den Ergebnissen unserer Untersuchungen nicht unterstützt werden. Stattdessen fanden wir durch die Betrachtung der Korrelationskoeffizienten eine enge Beziehung zwischen dem Parameter  $\alpha$  des van Genuchten-Mualem Modells und der normierten Gesamtaufladbarkeit der Debye-Zerlegung. Die Betrachtung dieses Zusammenhangs ermöglicht eine erste Abschätzung des Parameters  $\alpha$  aus SIP-Spektren. Zusätzlich zeigen wir, dass sich mit der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit eine weitere wichtige bodenhydrologische Eigenschaft durch SIP-Parameter mit Hilfe eines Potenzgesetzes abschätzen lässt.

## GF Geodäsie/ Fernerkundung

### Geodäsie/ Fernerkundung GF-1.001

*Erfassung der Oberflächendynamik an der Super-Sauze Hangrutschung zur Analyse von slidequakes*

**Rothmund, S.\*, Joswig, M.**

Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Mittels Nanoseismic Monitoring konnten rutschungsinduzierte, impulshafte Bruchprozesse ( $MI < 0$ ), sog. slidequakes, an kriechenden bis langsam bewegenden, tonreichen Lockergesteinshangrutschungen in den Alpen erfasst werden. Zur Untersuchung möglicher Generierungsmechanismen ist eine genaue Kenntnis von Hangbewegung, oberflächlicher Rissbildung, Porenwasserdruck und zeit/räumlichen Varianz der feuchteabhängigen Materialeigenschaften notwendig. Deshalb wurde ein hochauflösendes achtwöchiges Monitoring mit geophysikalischen, fernerkundlichen, geodätischen und geotechnischen Verfahren eines ca. 10.000 m<sup>2</sup> großen Hangbereichs an der Super-Sauze Hangrutschung (Südfranzösische Alpen) in 2010 durchgeführt. Für die Erfassung der Untergrunddynamik wurden Nanoseismic Monitoring und Geoelektrik angewandt. Die Oberflächendynamik wurde mit UAV-basierten (unmanned aerial vehicles) Luftbildern, terrestrischen Bildern und Laserscanning (TLS) und DGPS erfasst. Die zeitliche Änderung der Materialfeuchte wurde neben den UAV-basierten Luftbildern und Geoelektrik auch durch Bodenprobennahme registriert. Zudem stehen Piezometerdaten des Porenwasserdrucks und meteorologische Daten zur Verfügung. Wir stellen die Ergebnisse der Analyse der Oberflächendynamik vor.

## GF Geodäsie/ Fernerkundung Poster

### Geodäsie/ Fernerkundung GF-P.001

*Using stacking to reduce site-specific errors and to improve quality of GNSS-based coordinate time series within GURN (GNSS Upper Rhine graben Network)*

**Knöpfler, A., Mayer, M.\*, Heck, B.**

Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Within the last decades, positioning using GNSS (Global Navigation Satellite Systems; e.g., GPS) has become an indispensable tool for the monitoring of geodynamic processes. For instance, in many projects aiming for the determination of the time-dependant behaviour of the Earth's surface, the monitoring design was switched from campaign measurements to continuously operating sites. Benefitting from improved GNSS hardware and from further developed data processing strategies as well as from additional GNSS (e.g., GLONASS), displacements can be derived with mm - sub-mm accuracy. In the region of the Upper Rhine Graben (URG), GPS was successfully used to determine crustal movements within the project EUCOR-URGENT; due to promising results and a strongly risen number of established continuously operating sites, the project GURN (GNSS Upper Rhine graben Network) was established in 2008 in cooperation with EOST (Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre, Strasbourg, France) to combine all available permanently operating GNSS sites and to derive an updated, sophisticated geodynamical model for the URG area. The GURN data base starts in 2002 and is continuously updated. Within the processing of GNSS data, all limiting effects have to be handled with sophisticated care using appropriate models (e.g., atmosphere), external data (e.g., satellite orbits) or calibration values (e.g., GNSS antennas). Despite the considerable improvements that have been achieved within GNSS data processing, a generally valid multipath model is still lacking. Therefore, site specific multipath represents still a major error source in precise GNSS positioning. One very promising strategy to mitigate multipath effects as well as imperfect calibrated receiver antenna models is to stack data of several days, thereby, multipath-loaded observation residuals are analysed with respect to signal direction to find and reduce systematic constituents. This presentation will sensitize for the need of a very sophisticated GNSS data processing to achieve reliable and accurate positions as basis for the calculation of GNSS-derived site velocities for the modelling of



geodynamic processes. A main aspect is on the effect of most recent stacking findings as well as on the estimation of the effects of neglected multipath effects regarding GURN coordinate time series. In addition, the most recent GURN-based geodynamic model for the URG will be presented.

# GO Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-1.001

*Flächenbedarf von Solar- und Windenergieanlagen*

**Jacoby, W.<sup>\*1</sup>, Schwarz, O.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, Mainz, Deutschland, <sup>2</sup>Didaktik der Physik /  
Universitätssternwarte, Universität Siegen, Siegen, Deutschland

Erneuerbare Energie wird oft als die Lösung aller Energieprobleme der Zukunft dargestellt, und zwar als bequem erreichbar, weil überreichlich vorhanden. Das gilt besonders für Sonne und Wind. Tatsächlich aber sind die Energiequellen durch die nutzbare Flächendichte kritisch begrenzt. Diese ergibt sich durch den thermodynamischen Wirkungsgrad, abgesehen von der zeitlichen Variabilität und Unzuverlässigkeit sowie die Grenzen der Speicherung. Folgende Szenarien werden diskutiert-

1. Die Erde als "Maschinenplanet", bei dem die natürlichen Energieströme entweder mit einem technischen Wirkungsgrad von 1 (als freilich unrealistische Modellannahme) bzw. mit einem gegenwärtig als machbar einzuschätzenden technischen Wirkungsgrad vollständig für unsere Zivilisation genutzt würden. Wir würden, vielleicht abgesehen von winzigen ökologischen Nischen, in diesem Szenario alle zur Verfügung stehende Energie für uns abschöpfen. Die Erde würde insgesamt wie eine von Menschenhand gebaute "Energiesmaschine" funktionieren.
2. Die "umgestaltete Erde": Wir würden unter günstigsten Annahmen rund 10%, wahrscheinlich aber einen signifikant größeren Anteil der Erdoberfläche, in die Gewinnung regenerativer Energie einbinden. Die Erdoberfläche müsste im globalen Maßstab gravierend verändert werden, um die notwendige Fläche für die regenerativen Kraftwerke zur Verfügung zu stellen.
3. Die vielleicht gerade noch "erhaltene Erde". Mit etwas Glück und unter extrem großen Vorsichtsmaßnahmen könnte man eventuell den hier angesetzten Nutzungsrahmen einhalten, ohne die Geosysteme allzu gravierend zu beeinflussen.

## GO Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach Poster

### Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.001

*M.Sc. Programmes in Applied Geosciences at RWTH Aachen*

**Hruska, M.<sup>\*</sup>, Clauser, C., Hilgers, C., Heinzmann, K.**

RWTH Aachen, Aachen, Deutschland

The M.Sc. geosciences programmes offered at RWTH Aachen comprise the programmes of Joint Master's in Applied Geophysics and Master's in Applied Geosciences. Environmental and engineering investigations, including hydrogeophysics, log interpretation, and geothermal energy exploration and management, are strong components of geophysics specializations at RWTH Aachen. The Master's in Applied Geosciences offers three streams of specialization: in GeoMaterials, Geophysics-Hydrogeology-Engineering geology (GHI) and Energy & Mineral Resources (EMR). With RWTH Geosciences being one of the largest application-oriented faculties in Europe, we provide hands-on training related to exploration of production, sequestration and storage (EMR), geo-engineering and geohazards (GHI) as well as material production and -characterization (GeoMat). The Joint Master's in Applied Geophysics Programme is a two-year joint-degree M.Sc. Programme offered by three of Europe's leading science and technology institutions: the programme builds on the strengths and the complementary expertise in Earth Sciences at Delft University of Technology, ETH Zurich and RWTH Aachen University. It offers a combination of study and research, resulting in an outstanding qualification in Applied Geophysics.

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.002**

### ***Masterstudiengang Geotechnologie mit Kernfach Angewandte Geophysik an der TU Berlin***

**Yaramanci, U., Börner, F.\***

Angewandte Geophysik, TU Berlin, Berlin, Deutschland

Die Entwicklung der Geowissenschaften und somit auch der Geophysik an der heutigen Technischen Universität ist eng verbunden mit der Geschichte von Institutionen des Bergbaues und Hüttenwesens in Berlin und lässt sich bis ins Jahr 1770 zurückverfolgen.

Das Fachgebiet bzw. der Lehrstuhl Angewandte Geophysik bildet zusammen mit den Lehrstühlen Hydro-, Ingenieur-, Explorationsgeologie und Mineralogie (demnächst Angewandte Geochemie) das Institut für Angewandte Geowissenschaften. Nicht zuletzt im Ergebnis der aus der deutschen Wiedervereinigung 1990 hervorgegangenen Berliner Hochschullandschaft und dem Bedarf an interdisziplinär ausgebildeten Geowissenschaftlern wurde 1994 ein neuer integrierter Studiengang für Geoingenieur- und Angewandte Geowissenschaften etabliert. Dieser im Bereich der Bundesrepublik als erster dieser Art etablierte Studiengang stellt das Bindeglied zwischen Ingenieurwesen und Naturwissenschaften her. Er verbindet grundlagen- und anwendungsbezogene Inhalte von Geophysik, Geologie und Geochemie mit den Ingenieurfächern Hydrogeologie und Ingenieurgeologie. 2004 bis 2008 wurde im Zuge der Strukturmaßnahmen an den Universitäten in Berlin sowie den Vorgaben des Bologna-Prozesses der integrierte konsekutive geowissenschaftliche Studiengang Geotechnologie BSc. und MSc. mit bedeutenden Anteil in Angewandter Geophysik etabliert und erfolgreich akkreditiert. Im MSc.-Studiengang Geotechnologie mit der Vertiefungsrichtung Angewandte Geophysik wird die Fachkompetenz für die Anwendung der geophysikalischen Methoden in den interdisziplinären geowissenschaftlich-geotechnischen Aufgabenbereichen Wasser, Baugrund, Rohstoffe, Georisiken und Energie mit einem engen Bezug zur Ingenieurpraxis mit ihren ökologischen, rechtlichen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten vermittelt. Schwerpunkt neben theoretischer und praktischer Geophysik sind insbesondere projektorientierte Lehrveranstaltungen.

In die Ausbildung werden auch Aspekte der aktuellen Forschung am Fachgebiet integriert, die sich im Bereich der Ingenieur- und Umweltgeophysik auf die Weiterentwicklung, Modellierung und petrophysikalische Begründung oberflächennaher geophysikalischer Verfahren konzentriert. Während des MSc.-Studiums besteht die Möglichkeit, individuelle Schwerpunkte in Gestalt von 2 Wahlpflichtmoduli entsprechend den 5 zum Institut gehörigen Fachgebieten zu setzen. Die weitere Spezialisierung zur Geophysik wird dann über die Auswahl des Kernfachs Angewandte Geophysik definiert.

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.003**

### ***Masterstudiengang "Physik der Erde und Atmosphäre" an der Universität Bonn***

**Kemna, A.\***

Steinmann-Institut, Geodynamik/Geophysik, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Geophysik und Meteorologie sind stark physikalisch-mathematisch ausgerichtete Disziplinen innerhalb der Erdwissenschaften, die die Erfassung, Analyse und Vorhersage physikalischer Vorgänge und Phänomene des Systems Erde zum Ziel haben. Die Geophysik befasst sich mit der Erforschung des Aufbaus der Erde, ihrer physikalischen Zustände und mit den Vorgängen im Innern des Erdkörpers, während die Meteorologie physikalische und chemische Prozesse in der Erdatmosphäre ergründet. Lehr- und Forschungsschwerpunkte an der Universität Bonn sind im Fachbereich Geophysik die Geodynamik (Prof. Dr. Stephen A. Miller), mit Schwerpunkt Erdbebenphysik und Tektonophysik, und die Angewandte Geophysik (Prof. Dr. Andreas Kemna), mit den Schwerpunkten Hydrogeophysik und tomographische Erkundungsverfahren. Durch den GeoVerbund ABC/J der Universitäten Aachen, Bonn und Köln (C) mit dem Forschungszentrum Jülich (J) profitiert die Bonner Geophysik von einer engen Forschungskooperation auf verschiedenen Gebieten der Erdwissenschaften, so z. B. im Rahmen des SFB TR32 "Pattern in Soil-Vegetation-Atmosphere Systems: Monitoring, Modelling and Data Assimilation", die ebenfalls für die Lehre genutzt werden. Die intensive Zusammenarbeit in Forschung und Lehre mit dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln drückt sich nicht zuletzt in den beiden aufeinander abgestimmten Masterstudiengängen "Physik der Erde und Atmosphäre" aus.

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.004**

*Der Studiengang Master Physik mit geophysikalischem Schwerpunkt an der TU Braunschweig*  
**Hördt, A.\*, Glaßmeier, K.-H.\*, Blum, J.**

Institut für Geophysik und extraterrestische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Geophysikalische Inhalte werden an der TU Braunschweig als Schwerpunkt im Rahmen des Masterstudienganges Physik vermittelt. Im ersten Jahr werden in der fachlichen Vertiefungsphase die Spezialkenntnisse erworben, die zum Anfertigen einer Masterarbeit notwendig sind. Insgesamt 45 Leistungspunkte werden im physikalischen Kernbereich belegt, weitere 15 können als Nebenfach oder physiknaher Bereich gewählt werden. Im Kernbereich werden sechs Module mit je 15 Punkten angeboten, von denen drei frei gewählt werden. Drei der sechs Module werden im Schwerpunkt "Quantenphysik und -technologie" angeboten, die anderen drei decken Inhalte aus Geophysik, Weltraumforschung und Planetenphysik ab. Alle diese drei Module setzen sich aus zwei doppelstündigen Vorlesungen mit Übungsstunde, und einem Praktikum zusammen. Im Modul "Geophysik" werden Vorlesungen aus allgemeiner Geophysik, Hydrogeophysik und angewandter Geophysik, sowie ein einwöchiges Geländepraktikum angeboten. Das Modul "extraterrestische Physik" behandelt u.a. die Physik planetarer Magnetosphären, stärkt aber mit der Daten- und Signalanalyse auch methodische Kompetenzen. Im Modul "Astrophysik und Planetologie" wird u.a. die Entstehung von Planetensystemen behandelt. Alle drei Module werden mit einer mündlichen Abschlussprüfung benotet.

Das zweite Jahr des Masterstudienganges ist die Forschungsphase, in der die Studierenden eng an die Arbeitsgruppe angebunden sind, in der später die Masterarbeit angefertigt wird. Im dritten Semester werden zunächst im Rahmen experimenteller Praktika, Literaturrecherchen und Seminaren spezifische Fertigkeiten erworben, das vierte Semester ist dann ausschließlich der Masterarbeit gewidmet. Das Studium bietet auch Möglichkeiten zur Kooperation mit den in Braunschweig ansässigen Instituten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der physikalisch-technischen Bundesanstalt (PTB).

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.005**

*Studiengang Geoinformatik und Geophysik: Der mathematisch-physikalisch-informatische Zweig der Geowissenschaften*

**Spitzer, K.\*, Buske, S., Schaeben, H.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Geoinformatik und Geophysik haben viele Gemeinsamkeiten, die wir in unseren Studiengängen in Freiberg zusammenführen. Aufgabe der Geoinformatik ist es, ortsbezogene Daten systematisch zu erfassen, auszuwerten und darzustellen. Geophysik ist die Wissenschaft von der Physik der Erde, wobei wir uns in Freiberg hauptsächlich mit der Angewandten Geophysik beschäftigen. Die beiden Disziplinen durchdringen sich stark, da die Geoinformatik auf geophysikalische Daten angewiesen ist und die Geophysik rechnergestützte Methoden zur Datenerfassung und -auswertung benötigt. Grundlagen beider Fachrichtungen sind Methoden der angewandten Mathematik und Informatik, der Physik sowie wissenschaftliche Arbeitsmethoden zur Erforschung der Geosphäre. Daher ist die Bachelorausbildung beider Fachrichtungen zu 80% identisch und in einem gemeinsamen BSc-Studiengang an der TU Bergakademie Freiberg vereint. Unser Ausbildungskonzept legt besonderen Wert auf projektorientiertes Arbeiten und fachliche Kommunikation, um die Studierenden auf den beruflichen Alltag vorzubereiten. Die fachliche Vertiefung der beiden Disziplinen findet in jeweils einem MSc-Studiengang statt.

Der Masterstudiengang Geoinformatik ist ein naturwissenschaftlicher, wissenschaftsbezogener Studiengang, der auf das Profil der Forschung (Prozesssimulation) abgestimmt ist und Informatik für die Geowissenschaften vermittelt.

Der Masterstudiengang Geophysik ist ebenfalls stark forschungsbezogen und soll den Studierenden die Kompetenz vermitteln, komplexe Probleme in den Geowissenschaften und anderen gesellschaftlichen Bereichen mit Hilfe geophysikalischer Methoden zu lösen. Eine moderne und zukunftsorientierte Geophysik umfasst dabei als Grundlage die Mathematik, Physik, Geo- und Computerwissenschaften, wobei im Zentrum der Ausbildung an unserem Institut für Geophysik und Geoinformatik das Erlernen und Verstehen von Computersimulations- und Abbildungstechniken im Rahmen unserer Hauptforschungsrichtungen Elektromagnetik und Seismik stehen. Leiten lassen wir uns in der Lehre durch unsere anwendungsorientierte

Grundlagenforschung, die sowohl industrierelevante Themen (Kohlenwasserstoffexploration, Geothermie, etc.) als auch akademische Bereiche (Untersuchung von Störungssystemen und Erdbebenphänomenen, etc.) umfasst.

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.006**

### *Der Hamburger Masterstudiengang Geophysik*

**Vanelle, C., Hübscher, C.\***

Institut für Geophysik, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

Der an der Universität Hamburg angebotene Masterstudiengang Geophysik baut auf physikalische Bachelorstudiengänge auf. Er ist forschungsorientiert und bietet die ideale Vorbereitung auf eine Berufstätigkeit in der Wissenschaft sowie der Privatwirtschaft und Industrie. Die Lehrinhalte konzentrieren sich zum einen auf Naturgefahren wie Erdbeben und Vulkanismus. Ein weiterer Fokus spiegelt sich in denjenigen Modulen wider, in denen angewandte geophysikalische Verfahren wie Abbildung und Monitoring des Untergrundes vermittelt werden, die in der interdisziplinären Erdsystemforschung und bei der Rohstoffsuche eingesetzt werden. Dabei haben die Studierenden die Möglichkeit der Teilnahme an marinen und terrestrischen Messkampagnen. Im ersten Studienjahr vertiefen die Studierenden gezielt ihr Fachwissen durch den Besuch von Vorlesungen, Übungen und Seminaren, sowie durch Teilnahme an Praktika und Feldarbeit. Das zweite Studienjahr dient der Forschung: in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebettet wird den Studierenden im dritten Fachsemester das forschende Lernen als Vorbereitung auf ihre Forschungsphase vermittelt. Zum Abschluss wird im vierten Semester mit der sechsmonatigen Masterarbeit eine komplexe Fragestellung aus der Geophysik untersucht.

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.007**

### *Das geophysikalische Masterstudium in der Lichtstadt Jena in Thüringen*

**Jahr, T., Kukowski, N., Goepel, A., Krause, M.\*, Bleibinhaus, F.**

Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland

An der Friedrich-Schiller-Universität Jena wird vom Institut für Geowissenschaften ein Masterstudium angeboten, bei dem die Fachrichtung Geophysik schwerpunktmäßig gewählt werden kann. Die aktuellen Forschungsthemen reichen von Struktur- und Prozessuntersuchungen in der Erdkruste über die Erkundung von Sedimentbecken bis zu numerischen Modellierungen. Geophysikalische Messungen im Gelände und in unseren Analog- und Gesteinslaboren stellen dabei oft die Basis von Projekten, Qualifikationsarbeiten und Publikationen dar. Die Geophysik-Arbeitsgruppe betreibt das "Geodynamische Observatorium Moxa" und das "Thüringer Seismische Netz". Die in Jena vorhandene geophysikalischen Ausstattung ist wegen ihrer besonderen Zusammenstellung ein "Alleinstellungsmerkmal", das viele Arbeitsmöglichkeiten für geophysikalische Master-Studierende und NachwuchswissenschaftlerInnen bietet. Das geophysikalische Masterstudium in Jena zeichnet sich in drei wichtigen Punkten aus, deren Verbindung sonst nirgendwo so gegeben ist: (i) das Studium ist aus Wahlpflicht-Lehrveranstaltungen (Wahlfächer u.a. Physik- und Geobereich) aufgebaut, d.h. mehr methodisch interessierte Studierende werden hier ebenso einen optimalen Stundenplan zusammenstellen können, wie mehr Praxis-orientierte oder numerisch-experimentell interessierte Studierende. (ii) durch die oben beschriebene Ausstattung der Geophysik in Jena ist es uns möglich, Master-Studierende ganz nah an sehr aktuelle Forschungsthemen heranzuführen und qualitativ hochwertige (state-of-the-art-Forschung, inkl. Veröffentlichungen) Abschlussarbeits-Themen anzubieten. (iii) die Geophysik in Jena ist über stets laufende Forschungsprojekte zusätzlich breit aufgestellt. Qualifikationsarbeiten sind oft mit diesen Projekten verknüpft und erhalten dadurch eine sehr hohe geophysikalische Aktualität. Insbesondere ist die Geophysik in Jena auch über Industriekooperationen, der Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT) sowie großen Verbundprojekten (z.B. INFLUINS) mit außeruniversitären Institutionen verknüpft. Darüber hinaus sind unsere fortgeschrittenen Geophysik Studierenden sehr oft und gerne über Tutor- und HiWi-Jobs in die laufende Lehre und Forschung eingebunden und arbeiten auch so sehr eng mit ihren Betreuern und Betreuerinnen zusammen.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.008

*Master of Science in GEOPHYSICS at the University of Kiel*

**Rabbel, W.\***, Kieler Geophysik-Team,

Institut für Geowissenschaften, Universität Kiel, Kiel, Deutschland

The internationally oriented postgraduate study program Master of Science "Geophysics" promotes the latest state of geophysical research and technology. The degree program teaches the student the theoretical and applied concepts of solid earth geophysics. The main foci are marine geophysics, applied geophysics including archaeological and soil prospecting, seismology, potential fields, and geoinformation. Close collaboration with the Helmholtz-Center for Ocean Research Kiel (GEOMAR) allows us to cover a particularly broad geophysical spectrum at CAU. This means that students may select courses based on their individual needs and areas of interest, and that they are taught by faculty that is actively pursuing research in these fields.

Apart from providing a sound physical and mathematical background we aspire to teach the students the critical assessment of scientific results and let them take responsibility to plan, carry out and evaluate their own field and laboratory projects. The soft skills learned in this program combined with the interdisciplinary professional education provide students with the necessary qualifications to work successfully in private companies and public research institutions alike.

Geophysics is a small field and thus most of our research involves international partners. This is reflected in the large number of international students and that all courses are taught in English if foreign students are present.

The geophysics courses can be subdivided into three categories: core-courses, specialization and comprehensive courses (lectures, exercises and field courses). There are obligatory courses (40 credit points), which cover general aspects of geophysics and underlying theory, specialization courses allowing the student to focus on specific themes of applied, marine or numerical geophysics (64 credit points) and elective courses (16 credit points). Furthermore, the participation in marine or terrestrial field campaigns and project-oriented data evaluation are obligatory.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.009

*Masterstudiengang "Physik der Erde und Atmosphäre" am Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln*

**Gurk, M.\***

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland

Der Masterstudiengang "Physik der Erde und Atmosphäre" wurde 2007 von der ASIIN akkreditiert und wird in Zusammenarbeit mit der Universität Bonn angeboten. Er ist ein konsekutiver Studiengang zum Bachelorstudiengang "Geophysik und Meteorologie", in den aber auch Absolventen anderer physikalisch / geophysikalisch / meteorologischer Bachelorstudiengänge eingeschrieben werden können. Die Regelstudienzeit beträgt 4 Semester. Bei erfolgreichem Abschluss wird der Hochschulgrad "Master of Science" (M. Sc.) verliehen.

Der Masterstudiengang thematisiert theoretische und praktische Untersuchung diverser Phänomene im Erdinneren, an der Oberfläche und in der Atmosphäre unserer Erde sowie verschiedener Planeten und Monde in unserem Sonnensystem.

Der Masterstudiengang umfasst ein breites Themenangebot:

- \* **Methodik:** Inverse Modellierung und prognostische Modellierung
- \* **Geophysik:** Geophysik des Sonnensystems, Weltraumgeophysik, elektrische und elektromagnetische Verfahren der Geophysik, Seismologie, Geodynamik, Hydrodynamik, Erdbebenphysik
- \* **Meteorologie:** Dynamik und Physik der Atmosphäre, physikalische Klimatologie, Strahlung, Wolkenphysik, Atmosphärenchemie, Grenzschicht, Fernerkundung, Datenassimilation, atmosphärische Modellierung, Klimadynamik, Statistik
- \* **Feldpraktika:** Fortgeschrittenenpraktikum in angewandter Geophysik, Fortgeschrittenenpraktikum in Meteorologie

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.010

*MSc Studiengang Geowissenschaften: Umweltdynamik und Georisiken*

**Korn, M.\***

Institut für Geophysik und Geologie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland

Der MSc Studiengang baut auf die langjährige Tradition und Kompetenz der geologischen und geophysikalischen Lehre und Forschung in Leipzig auf. Mit der Rekonstruktion der Umweltdynamik über geologische Zeiträume und der Erforschung von Georisiken werden sehr aktuelle Themenbereiche der Geowissenschaften behandelt. Damit wird ein Beitrag zur Vorhersage zukünftiger Klima- und Umweltentwicklungen und deren Auswirkungen auf die Menschheit geleistet. Außerdem trägt ein besseres Verständnis der Ursachen von Georisiken, wie z. B. Erdbeben und Vulkanausbrüche, aber auch Standsicherheitsrisiken oder Untergrundkontaminationen, sowie deren Messung und Modellierung, zur genaueren Risikoabschätzung und erhöhten Prognosesicherheit bei.

Absolventen steht ein breites Spektrum an Berufsfeldern offen, z. B.:

Energie-, Rohstoff- und Bauwirtschaft

Grundlagenforschung an Forschungsinstituten und Universitäten

Beratungs- und Versicherungsunternehmen

öffentliche Einrichtungen, Ämter und Museen

Wissenschaftsjournalismus

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.011

*Universität Potsdam: Masterstudiengang Geowissenschaften mit Vertiefungsrichtung Geophysik*

**Tronicke, J.\*, Krüger, F.**

Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

Rückblickend auf eine 150-jährige Geschichte im Bereich der Erdbeobachtung hat sich der Standort Potsdam in den vergangenen zwei Jahrzehnten zu einem international sichtbaren Ausbildungs- und Forschungszentrum im Bereich der Erdwissenschaften entwickelt. In unmittelbarer Nachbarschaft zu zahlreichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen nimmt dabei die Universität Potsdam eine zentrale Rolle ein. Auch im Bereich der Geophysik bildet die enge Kooperation der Universität mit den außeruniversitären Partnern eine wichtige Säule, die auch in der Diversität der Forschungs- und Ausbildungsthemen weitreichend sichtbar ist. Seit der Studienreform im Jahr 2007 ist die geophysikalische Ausbildung an der Universität Potsdam ein integraler Bestandteil der Bachelor- und Masterstudiengänge Geowissenschaften.

Zugangsvoraussetzung für ein Masterstudium der Geowissenschaften sind der Abschluss eines Bachelorstudiums sowie der Nachweis von mindestens 24 Leistungspunkten (LP) aus dem Bereich Erdwissenschaften und mindestens 36 LP aus den Bereichen Mathematik, Chemie und Physik (mindestens jedoch 6 LP pro Fachrichtung). Während der Bachelorstudiengang ohne Spezialisierung abgeschlossen wird, können die Studierenden im Masterstudiengang zwischen den drei Vertiefungsrichtungen Geologie, Mineralogie/Petrologie und Geophysik auswählen, wobei jede Vertiefungsrichtung durch entsprechende Pflichtmodule (Umfang 30 LP) und vertiefende Wahlpflichtmodule (60 LP) definiert ist. Für die Vertiefungsrichtung Geophysik garantieren die in der Studienordnung definierten Pflichtmodule (zum Beispiel Theorie elastischer Wellen, geophysikalische Inversion) eine theoretisch fundierte Ausbildung. Darauf aufbauend erlaubt der Katalog der Wahlpflichtmodule eine den Studieninteressen angepasste Gestaltung der Ausbildung. Hier finden sich neben einer Reihe von allgemeinen/seismologischen und angewandten geophysikalischen Modulen auch geophysikalische Labor- und Geländeübungen, die das Studienangebot auch unter praktischen Gesichtspunkten abrunden. Abgeschlossen wird das Studium durch die Masterarbeit (30 LP), in der die/der Kandidat/in ein geophysikalisches Forschungsthema selbstständig bearbeitet. Neben den inneruniversitären Forschungsthemen der Arbeitsgruppen Allgemeine Geophysik/Seismologie und Angewandte Geophysik bietet hier auch die enge Kooperation der Universität Potsdam mit den außeruniversitären Partnern der Region weitreichende Möglichkeiten der Themenwahl und des vertieften Studiums.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.012

*Master-Studiengang Geophysik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

**Gottschämmer, E.\*, Bohlen, T.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Die Lehrinhalte des Masterstudiengangs Geophysik am KIT sind eng mit den aktuellen Forschungsthemen des Geophysikalischen Instituts (GPI) verknüpft: In der Grundlagenphase, den ersten beiden Semestern, finden sich im Curriculum Lehrveranstaltungen zu den Themen der Forschungsbereiche (FB). Diese beschäftigen sich mit der Entwicklung seismischer Simulations- und Abbildungsverfahren sowie deren Anwendung auf die Bohrloch- und Tunnelerkundung, mit Umwelt- und Ingenieurgeophysik, Kohlenwasserstoffexploration, mit der Messung, Analyse und Modellierung von Erdbebenwellen und mit der Quantifizierung der Auswirkungen von Naturgefahren, deren Prognose und Frühwarnung. Im dritten und vierten Semester, in der Spezialisierungs- und Masterarbeitsphase, schließt sich dann eine erste eigene Forschungstätigkeit, eingebunden in einen der FB, an. Wahlfächer aus dem Lehrangebot des GPI (z.B. Exkursionen, Spezialvorlesungen) und verwandter Fachbereiche des KIT vervollständigen das Profil und erlauben den Studierenden eine individuelle Schwerpunktbildung.

Wir binden unsere Studierenden durch die Mitarbeit in wissenschaftlichen Projekten und die enge Kooperation mit Firmen und Forschungsinstituten früh in die aktuelle Forschung ein und bereiten die Absolventen so optimal auf die eigene Forschungstätigkeit und den Einstieg in das Berufsleben vor. Neben den fachlichen Inhalten möchten wir aber nicht zuletzt aber auch den Spaß an der Geophysik vermitteln. In der Lehre setzen wir deshalb moderne didaktische Konzepte um und schaffen in kleinen Gruppen ein persönliches Lehr-Lern-Klima. Die Lehrveranstaltungen des GPI sind bereits mehrfach mit Preisen für die beste Vorlesung und Übung der Fakultät und bereits zwei Mal mit dem Fakultätslehrpreis ausgezeichnet worden.

Eine Bewerbung zum Masterstudiengang Geophysik mit einem Bachelorabschluss in Geophysik oder verwandten Abschlüssen (z.B. Geowissenschaften, Physik, Mathematik) ist sowohl zum Sommer- als auch zum Wintersemester möglich.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.013

*Inspiring Change - Studenten organisieren die IGSC 2013*

**Niemann, R.\*, Röser, A.**

Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Nach zweijähriger Planung fand vom 25. bis 30. April 2013 die 4. International Geosciences Student Conference in Berlin statt. Sie wurde unter der Schirmherrschaft des gemeinnützigen Student Geoscientific Society e.V. und seiner SEG, EAGE und AAPG Student Chapter von 20 Studenten und Doktoranden in Zusammenarbeit mit 23 internationalen Partnern und Sponsoren aus Industrie, Forschung und den Medien organisiert, darunter auch die Deutsche Geophysikalische Gesellschaft.

Der Vision Inspiring Change folgten 328 junge Geowissenschaftler aus 22 Ländern, die ihre Forschungsergebnisse in Form von 44 Posterpräsentationen und 61 Vorträgen vorstellten. Zusätzlich vermittelten erfahrene Geowissenschaftler im Rahmen von insgesamt elf Vorlesungen, Kompaktkursen und Workshops ihre Kenntnisse zu verschiedenen geowissenschaftlichen Themen. Beim ersten SGS Geosciences Slam und dem von Total gesponserten SEG European Challenge Bowl traten 35 Konferenzteilnehmer an, um ihre Präsentationsfähigkeiten und ihr geowissenschaftliches Wissen in zwei spannenden Wettkämpfen zu messen.

Der gesellschaftliche Höhepunkt der Konferenz war der Praehistorica Conference Evening im Berliner Museum für Naturkunde, bei welchem sich die Gäste bei Finger Food und Getränken die Exponate ansehen konnten. Vor dem eigentlichen Conference Evening boten Museumsmitarbeiter zudem insgesamt vier Führungen an, die einen Einblick in diejenigen Bereiche des Museums gewährten, die Besuchern sonst nicht zugänglich sind. Den kulturellen Abschluss der Konferenz bildete die Farewell Gala im Spindler & Klatt direkt am Spreeufer. Im Anschluss an die IGSC 2013 betreuten Studenten und Geowissenschaftler aus Berlin und Potsdam außerdem vier Exkursionen, welche in den Braunkohletagebau Welzow Süd, mittels des Vereins Berliner Unterwelten in den Untergrund von Berlin, auf den Telegrafenberg nach Potsdam und ins quartäre Umland von Berlin führten.



## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.014**

*Geophysik-Studierende präsentieren ihr Studienfach - ein Update des Rent-a-Student-Projektes*  
**Thiel, N.\***

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Das Rent-a-Student-Projekt hat zum Ziel Kontakte zwischen Lehrern und Schülern auf der einen Seite und Geophysik-Studierenden auf der anderen Seite zu knüpfen. Studierende geben im Rahmen des Projektes Einblicke in die Arbeitsweisen, Aufgabengebiete und das Studium der Geophysik. Die Studierenden kommen dafür in die Schulen und stellen im Unterricht der Oberstufe oder bei Berufsinformationstagen das Fach und den Studiengang Geophysik vor. Der Kontakt von Lehrern und Schülern zu Geophysik-Studierenden kann über die studentische Initiative geophysikstudenten.de hergestellt werden, welche das Projekt auch koordiniert, oder über die Fachstudienberater der Universitäten. Die Initiative geophysikstudenten.de stellt auf ihren Internetseiten den Studierenden einen Foliensatz, Skript und Poster für diese Präsentation zur Verfügung. Zusätzlich werden die Vortragenden finanziell von der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG) unterstützt, sodass für die Schulen keine Kosten anfallen. Das Poster und der Foliensatz werden ständig aktuell gehalten und haben kürzlich ein neues Design bekommen. Es werden die aktuellen Unterlagen vorgestellt und über Erfahrungen der letzten Jahre mit der Vorstellung des Studiengangs an Schulen oder im Rahmen des Geophysik-Schülerlabors am KIT berichtet. Wir vermitteln außerdem interessierten Lehrern Kontakte zu Geophysik-Studierenden.

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.015**

*Lehrerfortbildung und Angebote für Schulklassen am KIT-Lehrstuhl für Physikalische und Satellitengeodäsie - Einblicke in ausgewählte aktuelle Projekte*  
**Mayer, M.\*, Seitz, K., Westerhaus, M., Heck, B.**

Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Am Lehrstuhl für Physikalische und Satellitengeodäsie des Geodätischen Instituts des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) werden in den letzten Jahren verstärkt und gezielt Outreach/Education-bezogene Angebote entwickelt und erfolgreich durchgeführt, die deutlich über die Aktivitäten im Rahmen von "Uni für Einsteiger", "Girls' Day/Mädchen-Technik-Tag" und "Geo-Bogy" hinausgehen. Diese Angebote richten sich einerseits an SchülerInnen (z.B. Schulklassen, einzelne SchülerInnen), andererseits werden Workshops im Rahmen von LehrerInnen-Fortbildungen angeboten. Durch diese verstärkte Vernetzung im nicht-hochschulischen Bildungssektor konnten zudem weitere Outreach/Education-Kooperationen etabliert werden (z.B. Badisches Landesmuseum).

Das Poster greift repräsentative Outreach/Education-bezogene Aktivitäten auf, die allesamt im geowissenschaftlichen Kontext stehen. Dabei werden sowohl die individuellen Ziele als auch der Ablauf der Maßnahme beschrieben.

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.016**

### *Geophysik als Wahlpflichtfach am Geschwister-Scholl Gymnasium Velbert NRW*

**Hassler, H.\***

Geschwister-Scholl Gymnasium, Velbert, Deutschland

Als fächerübergreifendes Differenzierungsfach wird Geophysik nun schon zum dritten Mal in Folge erfolgreich in den Jahrgangsstufen 8 und 9 durchlaufen, wobei es in der Jgst. 8 zweistündig und in der Jgst. 9 einstündig unterrichtet wird. Es wird die Basis der Dinge behandelt, um welche sich geopolitische Konflikte aktuell drehen und damit Raumverhaltenskompetenz auf feste Fundamente gestellt. Nachhaltigkeit kann nur dann zu einem kritisch bewertbaren Thema werden, wenn wissenschaftliche Grundlagen, die Kenntnis vom Funktionieren von Prozessen auf der Erde, bekannt sind. Dies kann nachhaltig nur durch vermehrt selbständig organisiertes und teambasiertes Lernen und Arbeiten geschehen, wozu Geophysik einen Beitrag leisten will. Nach den astronomischen Basisbetrachtungen wie Entstehung des Sonnensystems, optische Grundlagen, Umgang mit Sternkarten etc. fokussiert sich der Blick auf die Zusammensetzung der Erde sowie auf die Untersuchung der Gesteine und deren differenzierte Entstehung. Da die Dynamik der Erde für den Menschen Vor- und Nachteile mit sich bringt, werden Ereignisse wie Naturkatastrophen, darunter Erdbeben und Vulkanismus, sowie in einem intensiven Block die Lagerstättenausbeutung beleuchtet. Dabei werden seismische Untergrunduntersuchungen didaktisch stark aufbereitet, wobei die Schülerinnen und Schüler dennoch mathematisch-kartographisch arbeiten und Untergrundkarten "erzeugen". Neben dem "Wo?" erarbeiten die Schülerinnen und Schüler auch Techniken der Förderung und Distribution, wobei auch die Folgen anthropogener Ressourcennutzung auf die Umwelt im Sinne nachhaltigen Handelns untersucht werden. Aus der endogenen Dynamik heraus betrachten wir die exogenen Kräfte, unter anderem die aus menschlicher Zielsetzung erwachsenen Veränderungen von Fließgewässern. Schulstandortnahe Untersuchungen werden in selbstorganisierten experimentellen Lerneinheiten zur Fließgeschwindigkeitsabhängigkeit vertieft und in Formeln umgesetzt. Weitere Prozesse der Oberflächendynamik und -verformung werden physikalisch als auch in Modellen umgesetzt, etwa Denudationsprozesse in skitouristisch genutzten Regionen. Da die Oberfläche der Erde auch durch den Wasserfluss von oben stetig verändert wird, stellt auch die Klima- und Meteorologie einen Bestandteil des Faches dar. In den bisherigen Durchgängen des Kurses zeigten sich die Schülerinnen und Schüler äußerst intrinsisch, vor allem durch das Themenspektrum, motiviert und zeigten sehr gute Ergebnisse, insbesondere Schülerinnen!

## **Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.017**

### *Schülerlabor Geophysik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*

**Gottschämmer, E.\*, Bohlen, T.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Das Schülerlabor Geophysik am Geophysikalischen Institut (GPI) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) ist für Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe konzipiert. Die Versuche wurden seit 2012 im Rahmen von Staatsexamensarbeiten der Fakultät für Physik in Zusammenarbeit mit dem GPI entwickelt. Die Schülerinnen und Schüler können am GPI zu drei geophysikalischen Schwerpunkten experimentieren: Mit einem Horizontalpendel und einem Akzelerometer führen die Schülerinnen und Schüler verschiedene Versuche zum Thema Erdbebenregistrierung durch und werten Seismogramme aus, die am GPI mit dem Horizontalpendel registriert wurden. Außerdem wird ein Geoelektrikversuch in kleinen Dimensionen angeboten, bei dem der Untergrund zerstörungsfrei untersucht wird. In einem dritten Themenbereich können sich die Schülerinnen und Schüler mit der Viskosität von Stoffen und deren Temperaturabhängigkeit beschäftigen. Ziel der Versuche ist es, die Schüler mit den physikalischen Grundlagen der Geophysik vertraut zu machen und sie für angewandte physikalische Fragestellungen zu begeistern. Mit den Versuchen soll der Unterricht der Schulen bereichert werden und Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben werden, weitere Anwendungen für das im Unterricht Erlernte kennenzulernen. Deshalb werden die Versuche in der Regel im Kursverband der Fächer Physik, Geographie oder NwT (ab Klasse 10) durchgeführt. Darüber hinaus richten sich die Versuche an einzelne besonders interessierte Schülerinnen und Schüler die z.B. eine Seminararbeit oder GFS anfertigen. Für die meisten Versuche stehen vorbereitende Unterrichtsmaterialien zur Verfügung, die interessierte Lehrer am GPI erhalten können.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.018

### *Konzeption und Aufbau von Versuchen zur Messung der Temperaturabhängigkeit der Viskosität von Stoffen*

**Langhamer, L.\*, Gottschämmer, E., Bohlen, T.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Die Viskosität von Magma ist ein wichtiger Indikator, um Rückschlüsse auf das Fließverhalten von Magmen und somit auf das Eruptionsverhalten von Vulkanen zu ziehen. Der Viskositätsgrad ist mit dafür verantwortlich, ob effusiver oder explosiver Vulkanismus vorherrscht. Die physikalische Eigenschaft des Magmas wird von zwei grundlegenden Parametern beeinflusst: Zusammensetzung der Schmelze und deren Temperatur.

Um ein Gefühl für diese Zusammenhänge zu bekommen, haben wir einen Versuch zur Bestimmung der Viskosität unterschiedlicher Stoffe (Wasser, Olivenöl, Ethanol und Honig) und deren Temperaturabhängigkeit entwickelt. Es sollen verschiedene Methoden zur Bestimmung der Viskosität kennengelernt werden: Anhand des Fallviskosimeters nach Höppler kann der Einfluss der Viskosität verschiedener Flüssigkeiten auf einen Fallkörper anschaulich demonstriert und ihre Viskosität berechnet werden. Die Temperaturabhängigkeit wird mit einem Kapillarviskosimeter nach Ostwald untersucht und anschließend grafisch dargestellt.

Die Versuche wurden für Studierende der Geophysik konzipiert und sollen zukünftig in verschiedenen Lehrveranstaltungen des Geophysikalischen Instituts eingesetzt werden. Sie bilden die Grundlage für einen Versuch im Schülerlabor Geophysik des Karlsruher Instituts für Technologie. Zu diesem Zweck wird der Versuch didaktisch so aufbereitet, dass ihn Schülerinnen und Schüler der gymnasialen Oberstufe durchführen können. Außerdem werden vorbereitende Unterrichtsmaterialien erstellt.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.019

### *Die Seismik-Arbeitsgemeinschaft am St.-Michael-Gymnasium Monschau (Eifel)*

**Arndt, U., Hoff, F.\*, Krämer, F.\***

St.-Michael-Gymnasium Monschau, Seismik-AG, Monschau, Deutschland

Wie kommt ein Gymnasium zu einer Erdbebenwarte? - 1994 interpretierten 23 Schüler/innen in einer Projektwoche deren historisches Thema "Lebendige Steine" anders als andere: wenn Steine lebendig werden kann ein Erdbeben Ursache sein, und womit registriert man Erdbeben? - Mit einem Seismographen. So wurde ein ortsfester Horizontal-Seismograph gebaut. Wissenschaftlicher Pate des Projekts war und ist bis heute Professor Dr. E. Wielandt (Stuttgart). 1995/96 erfolgte der Ausbau zur dreikomponentigen Schul-Erdbebenwarte mit Fernabfrage und eigener digitaler Signalerfassungs-Software: Bernd Naeth, Thomas Poschen und Sebastian Schork wurden 2. Bundessieger bei "Jugend forscht" im Bereich Geo- und Raumwissenschaften. Auf Schüler-Initiative hin entstand eine "Seismik-AG" (Frontman: Sebastian Staiger), über die 1997 das WDR-Fernsehen berichtete. Wir zeigen den Seismographen- und den Kontroll-Raum unserer Schul-Erdbebenwarte und wie diese digital-messtechnisch organisiert ist. Die Seismik-AG war auch "on tour": 1998 Universität Leipzig (MNU-Hauptversammlung), 2001 Outreach-Workshop auf der IAGA-IASPEI-Tagung in Hanoi zusammen mit Prof. Dr. P. Bormann (GFZ Potsdam), 2002 deutscher Hauptvortrag bei Physics on Stage II in Noordwijk. Im selben Jahr wurde am Tag der Schulphysik (Chairman Prof. Dr. T. Hebbeker) an der RWTH Aachen Lehrerinnen und Lehrern "Geophysik in der Schule" vorgestellt, ebenso 2004 in Bad Honnef bei der DPG. Gerne und mit Stolz ist die AG 2010 einer Einladung zu einem Vortrag auf der DGG-Hauptversammlung gefolgt, der bei Studentinnen und Studenten gut ankam, die spontan einen dicken Obulus für die AG sammelten. Bereits 2000 setzte Martin Jansen (Klasse 9) eine Homepage ins Netz: seismic.mgm-monschau.de. 2005 folgte die Einladung zum Artikel über Schulseismometer in "Physik in unserer Zeit". Exkursionen führten auch zur Ruhr-Uni Bochum, zum Geologischen Dienst NRW und zur Erdbebenwarte der Universität Köln. Das 10jährige Bestehen der AG wurde 2007 gefeiert; den Hauptvortrag hielt Dr. T. Forbriger, den die AG von einer Exkursion zum BFO Schiltach kannte. Die AG konstruiert "Schulgeophysik-tools": zum transportablen Lehrseismograph kamen Modelle zum "Gartentor-Prinzip", zur P- und S-Wellen-Ausbreitung und eine Apparatur zum Problem der Erdbeben-Vorhersage. In 2jähriger Arbeit wurde ein eröffnbarer Groß-Globus (Durchmesser ca. 2m) gebaut, der Plattengrenzen, inneren Erd-Aufbau und Trajektorien der Erdbebenwellen zeigt.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.020

### *Eine Seismik-AG lokalisiert Erdbeben und baut einen großen Geophysik-Globus*

**Arndt, U., Hoff, F.\*, Krämer, F.\***

St.-Michael-Gymnasium Monschau, Seismik-AG, Monschau, Deutschland

Der am St.-Michael-Gymnasium realisierte Aufbau einer 3komponentigen Schul-Erdbebenwarte wird vorgestellt, ebenso wie die Station datenerfassungstechnisch organisiert ist. Wissenschaftlich begleitet wird das Geophysik-Projekt des Gymnasiums durch Professor Dr. Erhard Wielandt. Wir zeigen, wie ein von der Station registriertes Erdbeben in einem 3d-Seismogramm ausgewertet wird: die "zeitliche Koinzidenz" der P- und S-Wellen-Einsätze im EW-, NS und Z-Seismogramm ist für den Laien auffällig; hieraus werden Herd-Entfernung und Herd-Zeit mit Hilfe von Laufzeit-Tabellen ermittelt. Darauf folgt an einem Beispiel die Ermittlung der Ms-Magnitude aus den Oberflächenwellen; dazu wird der Weg des Signals vom Boden in den PC konkret für die Station aufgezeigt. Wir erläutern dann, wie man aus dem PC-Signal die Boden-Amplitude berechnet. Zur Vorbereitung des Lokalisationsvorgangs zeigen wir an einer Cassata der Erdkugel die mathematische Idee der Lokalisation. Anschließend wird die Richtung zum Erdbebenherd mit einer Art Wichert-Seismographen-Simulation 2d-mäßig im PC ermittelt: zunächst werden die P-Wellen-Einsätze von NS- und EW-Seismogramm ausgewertet und erklärt, wie der P-Einsatz des Z-Seismogramms "entscheidet". Das Lokalisations-Ergebnis mit den NEIC-Daten verglichen.

Zum Bau unseres geophysikalischen Schul-Großglobus: aus matratzengroßen Styropor-Platten (BASF) wird auf "heißem Weg" ein Kugel-Prototyp herausgeschnitten, der zur Kugel geglättet wird. Probleme und deren Lösung beim Auffinden des Nordpols und bei der äquidistanten Teilung des Äquators werden vorgestellt, ebenso die Aufbereitung der apfelsinenscheibenartigen DLR-Folien im PC. Eine großformatig gedruckte Folie wird mitgebracht und der Nervenkitzel beim Aufkleben der Folien geschildert. Bei Interesse wird die Präsentation des Globus auf der Feier "10 Jahre Seismik AG" in einem Video gezeigt. Wie kommen die Plattengrenzen auf den Globus? - Mit Gitternetz und anschließendem "Folien-Kacheln" mit Google-Earth. Teile des Globus (Australische und Indische Platte) stellen wir im Bild vor. Der Globus kann geöffnet und der innere Erdaufbau gezeigt werden. Die Raumwellen-Strahltrajektorien wurden mit Hilfe einer Folie von Professor Dr. Shearer im Globus-Inneren eingezeichnet, sodass die erstmals von Inge Lehmann gefundenen Signale in der Schattenzone als Indiz für den festen Erdkern gezeigt werden können. Der Globus steht in einem Pavillon außerhalb des Schulgebäudes, damit die Brandaufsicht zufrieden ist.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.021

### *Wissenschaft zum Anfassen: Machen macht schlau!*

**Lerch, J.\***

Science & Technologie e.V., Teningen, Deutschland

Seit mehr als einem Jahrzehnt führt der gemeinnützige Förderverein Science & Technologie e.V. Wissenschaftsfestivals, Lehrerfortbildungen und andere Projekt durch, um Kinder, Jugendliche und Erwachsene für die Wissenschaften zu begeistern und Einblicke in die Berufswelt der Wissenschaft zu geben. Bei Veranstaltungen, wie z.B. den Tagen der Geowissenschaften, war die aktive Mitwirkung der Besucher von zentraler Bedeutung. Die Vernetzung mit vielen Institutionen auf nationaler und internationaler Ebene sorgt für neue Impulse und Ideen.

## Geophysik in der Öffentlichkeit/ Outreach GO-P.022

### *Sparkling Geomagnetic Field: Ein Programm zur Einbindung von Schulen in die geomagnetische Forschung*

**Bailey, R.\*, Leonhardt, R., Leichter, B.**

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Österreich

Im kommenden Jahr ist das nächste solare Maximum zu erwarten. Dies äußert sich in einer steigenden Zahl von Sonnenflecken und solaren Eruptionen. Durch solare Stürme wird das Magnetfeld der Erde "komprimiert" und als Folge werden dann magnetische Stürme auf der Erdoberfläche beobachtet. Die Folgen solcher Sturmereignisse beinhalten Polarlichtbeobachtungen, Störungen im Funkverkehr und Beeinflussungen von Navigationssystemen. Starke magnetische Stürme können aber auch elektrische Ströme in Überlandleitungen und andere Netzwerke induzieren und diese beschädigen.

Neben direkten Beobachtungen der Sonne und deren Strahlungsfeld sind geomagnetische Daten zur Untersuchung zeitlicher und räumlicher Wirkungen von großer Bedeutung, da diese magnetischen Daten die "Geoeffektivität" der Sturmereignisse beschreiben. Im Rahmen des österreichischen Sparkling Geomagnetic Field-Forschungsprojekts wird ein regionales Stationsnetz von magnetischen Sensoren in enger Zusammenarbeit mit Schulen aufgebaut. Diese Daten bieten die Möglichkeit in einem räumlich begrenzten Gebiet unter exakt kontrollierten Bedingungen den Charakter von Sturmeinsätzen, die in der Hauptsturmphase enthaltene Unterstürme und deren Längen und Breitenabhängigkeit zu untersuchen. Auf Grund der Aktualität und des relativ breiten Forschungsinhaltes eignet sich gerade dieses Projekt zur schulischen Vermittlung naturwissenschaftlicher Forschung. Durch Stationsaufbau, Betreuung, Datenanalyse und Visualisierung werden alle naturwissenschaftlichen Grunddisziplinen - Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik - gleichermaßen angesprochen.

Insgesamt drei geomagnetische Stationen wurden in Innsbruck, Tamsweg und Graz eingerichtet. Gemeinsam mit dem Conrad Observatorium in der Nähe von Wien werden somit hochgenaue Werte von vier unabhängigen und räumlich gut verteilten Stationen geliefert. Zur Datenakquisition und zum Versand wurde hierbei ein Datenlogger und eine Software entwickelt die dies in nahe Echtzeit ermöglichen. Durch sehr hohe Abtastraten von 10 Hz werden neben der guten räumlichen Abdeckung auch zeitliche Variationen genauesten erfasst. Die Stationen laufen im Moment im Testbetrieb während letzte Nachbesserungsarbeiten durchgeführt werden. Das Netzwerk wird im Frühling 2014 permanent Daten liefern.

# GS Geschichte der Geophysik

## Geschichte der Geophysik GS-1.001

*Die Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V. von 1923 bis 1951*

**Jacobs, F.<sup>\*1</sup>, Neunhöfer, H.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Geophysik und Geologie, Universität, Leipzig, Deutschland, <sup>2</sup>Geowissenschaften, Universität, Jena, Deutschland

- Eintragungen im Vereinsregister des Amtsgerichtes Jena –

Ein überraschender Fund im Thüringischen Hauptstaatsarchiv Weimar brachte im Mai 2013 eine 94-seitige Akte über die DGG zu Tage.

Die jetzt vorliegenden Eintragungen zur DGG als Verein beim Amtsgericht Jena schließen manche Kenntnislücke über die Vergangenheit unserer Gesellschaft in den ersten Jahrzehnten ihres Bestehens. Die in Weimar gefundenen Dokumente enthalten auch Schriftstücke über Mitgliederverzeichnisse, Geschäftsprotokolle, Satzungen, Beschlüsse, Kassenberichte, Wahlen zum Vorstand, notarielle Beglaubigungen und über umfangreichen Schriftverkehr der damaligen Vorstände. Im Vortrag werden anhand der gefundenen Belege einige allgemeine Zusammenhänge sowie aufschlussreiche Details aus der Geschichte der DGG erläutert. Das Wirken der ehemaligen DGG-Vorsitzenden Emil Wiechert (Göttingen), Ernst Kohlschütter (Potsdam), Franz Linke (Frankfurt/M.) und Julius Bartels (Eberswalde/Potsdam) sowie die besondere Rolle von Oskar Hecker (Jena) erfahren eine Würdigung.

Abschließend wird versucht, eine Klärung zu den Umständen der Streichung der DGG aus dem Vereinsregister Jena im Jahre 1951 zu finden.

## Geschichte der Geophysik GS-1.002

*Physik der Erde und Allgemeiner Vulkanismus bei A. v. Humboldt - Revision von grober Vereinfachung und Fehldeutung in der neueren Forschung*

**Fertig, J.<sup>\*1</sup>, Oeser, E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Philosophie, Universität Wien, Wien, Österreich

**Humboldt** sah in Vulkanen Sicherheitsventile zur Entlastung der über den Erdball verteilten vulkanischen Kräfte und Erdbeben und Vulkanismus wurden als eine Einheit betrachtet; so wurde und wird auch heute noch das Ergebnis vieler Schriften von Alexander von Humboldt (1769-1859) zum Thema Erdbeben/Vulkanismus übernommen und öffentlich verbreitet. Diese Darstellung ist zu stark vereinfachend und zeugt von einem unzureichenden und mangelhaften Quellenstudium. Der verallgemeinerte Vulkanismus oder die **Vulcanicität** bei Humboldt ist typisch für seinen Versuch einer Ursachenbeschreibung, welche unterschiedliche Beobachtungen verbinden will. Humboldt befasst sich mit der Thematik Erdbeben und Vulkanismus auch aus der Erfahrung über 50 Jahre bis zu seinem Tod. Er durchläuft dabei mehrere Stadien in der **Physik der Erde**: die Ausbreitung von Energie nach Aristoteles, Kant (mit Massentransport) und der Ausbreitung elastischer Wellen (ohne Massentransport). Diese Entwicklung lässt sich mit Texten aus seinem KOSMOS *der alles enthält, was man damals über die Physik der Erde wusste*, nachvollziehen, einschließlich der Trennung von Vulkanismus und Seismizität. Bei der ursächlichen Kraft der "Vulcanicität" spielt die **innere Wärme**, ihre Erzeugung, Ausbreitung und Verteilung eine hervorragende Rolle. Die Interpretation aller "Erscheinungen" in Humboldt's Kosmos, ist auch belegt durch Verweise auf Bessel, Fourier, Gay-Lussac, Poisson, Young, u.v.a., und ist deshalb auch aus dieser Sicht zu bewerten.

Alfred **Wegener** liefert fast 80 Jahre später ebenfalls durch eine Zusammenschau vieler Ergebnisse fachlich unterschiedlicher Disziplinen einen Hinweis auf die dynamischen Vorgänge in der Erde; zunächst auch ohne genaue Kenntnis der wirksamen Kräfte. Nach ca. 30 weiteren Jahren wurde mit Unterstützung der Erdbebenkunde diese Theorie induktiv über die Plattentektonik und allgem. Geodynamik bestätigt. Letztlich haben bei Humboldt und Wegener alle Vorgänge im Innern der Erde nach heutiger "moderner" Ansicht der Geodynamik eine Ursache: die "innere Wärme" der Erde! Dies macht dann auch aus dem ehemaligen Oberbergmeister Alexander von Humboldt einen modernen Geowissenschaftler und Geodynamiker.

# MA Magnetik/ Erdmagnetismus

## Magnetik/ Erdmagnetismus MA-1.001

*Potentials and limitations of magnetic polarity stratigraphy in fluvial sediments: results from the Plio-Pleistocene of the Heidelberg Basin*

**Scheidt, S.<sup>\*1</sup>, Rolf, C.<sup>1</sup>, Hambach, U.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland,

<sup>2</sup>University of Bayreuth, Chair of Geomorphology, Bayreuth, Deutschland

Fluvial sediments are a fundamental challenge for the application of magnetic polarity stratigraphy. The low content of magnetisable minerals and various synsedimentary and post depositional processes limit the chance for confidential results. Here, we present a case study from the Heidelberg Basin, where one of the thickest and most complete successions of Quaternary and Upper Pliocene continental sediments in Central-Europe is accessible by deep drill cores [1]. In absence of any comprehensive chronostratigraphic model, these sediments are so far classified by lithological and hydrogeological criteria. Therefore the age of this sequence is still controversially discussed ([1], [2]). Components of natural remanent magnetisation (NRM) were separated by alternating field and thermal demagnetisation techniques and the characteristic remanent magnetisations (ChRM) were isolated by principle component analysis [3]. Due to the coring technique solely inclination data of the ChRM is used for the determination of the magnetic polarity stratigraphy. Rock magnetic proxies were applied to identify the carriers of the remanent magnetisation. The investigations prove the NRM as a stable, largely primary magnetisation acquired shortly after deposition (PDRM).

The analyses of four drill cores from three locations (Heidelberg, Ludwigshafen and nearby Viernheim) result in a consistent chronostratigraphic framework. The Matuyama-Gauss boundary is clearly defined by a polarity change in each core, as suggested in previous work [4]. These findings are in good agreement with the biostratigraphic definition of the base of the Quaternary of the cores Ludwigshafen Parkinsel P36 [5] and Viernheim [6]. The Brunhes-Matuyama boundary could be identified in core Heidelberg UniNord 1 and 2 only. Consequently, the position of the Jaramillo and Olduvai subchron can be inferred from the lithostratigraphy and the development of fluvial facies architecture in the Rhine system. The continuation of the magnetic polarity stratigraphy into the Gilbert chron (Upper Pliocene) allows different correlation schemes for the cores Viernheim and Heidelberg.

All things considered, the application of magnetic polarity stratigraphy on Pliocene and Pleistocene fluvial sediments from the Heidelberg Basin provides a consistent and independent chronology and opens the perspective for global correlations where other approaches hardly come to results.

References are available on request to the authors.

## Magnetik/ Erdmagnetismus MA-1.002

*Navigation einer Eisschmelzsonde anhand von Magnetfeldern*

**Stebner, H.<sup>\*1</sup>, Hördt, A.<sup>1</sup>, Auster, H.-U.<sup>1</sup>, Macht, S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Braunschweig, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Flugführung, Technische Universität Carolo-Wilhelmina, Braunschweig, Deutschland

Die als Vorbereitung für zukünftige Raumfahrtmissionen zur Suche von extraterrestrischem Leben entwickelte Eisschmelzsonde "IceMole" (FH Aachen) soll sich weitestgehend autonom bis zu 100 Meter ins Eis bohren können. Ein grundsätzliches Problem dabei ist eine zuverlässige Navigation unter Tage.

Üblicherweise werden Sonden in eine Bohrung abgeseilt. Dabei kann man mit Hilfe der Information über die Länge des abgerollten Kabels und der Neigungsänderung der Sonde den Verlauf der Strecke berechnen. Die Neigungsinformationen können dabei beispielsweise durch Messungen mittels Inklinometer, Magnetometer, Faserkreisel oder Beschleunigungssensoren gewonnen werden.

Dieses Verfahren setzt allerdings eine kontinuierliche Messung über den gesamten Verlauf der Strecke voraus. Ebenso ist die Bestimmbarkeit der Länge des abgerollten Kabels essenziell. Diese ist bei einer Eisschmelzsonde, die sich eigenständig ins Eis bohrt zu ungenau (Vereisung des Bohrkanals hinter der Sonde), beziehungsweise gar nicht möglich (Kabellose Sonde). In Bezug auf den "IceMole" sollen deshalb

direktere Methoden zur Navigation entwickelt werden.

Unser Ansatz verfolgt eine Navigation anhand von Magnetfeldern. Das Verfahren erlaubt es durch eine einzelne Messung gleichzeitig die Position als auch die Orientierung der Sonde zu bestimmen.

Dabei wird an einer Basisstation mit einer Spule ein künstliches Dipolmagnetfeld erzeugt. Eine Messung des Magnetfeldvektors auf der Sonde unter Tage lässt dann eine eindeutige Bestimmung der Position innerhalb dieses Dipolfeldes zu. Dazu muss jedoch zunächst der im lokalen Koordinatensystem der Sonde gemessene Magnetfeldvektor in das Koordinatensystem der Basis umgerechnet werden. Hierzu müssen zwei weitere, durch Messung an der Basisstation bekannte, Vektoren auf der Sonde gemessen werden. Zum einen der des Hintergrundmagnetfeldes und zum anderen der Schwerevektor. Zur Trennung des Dipol- und des Hintergrundmagnetfeldanteils wird das Dipolmagnetfeld der Spule periodisch an- und abgeschaltet.

Die Genauigkeit der Positions- und Orientierungsbestimmung hängt im Wesentlichen von der Genauigkeit des benutzten Magnetometers und der Stärke des magnetischen Momentes der Dipolspule ab. Simulationen haben gezeigt, dass die Richtvorgabe von einer Genauigkeit der Positionsbestimmung von 1m in 100m Tiefe unter realistischen Bedingungen eingehalten werden kann. Weiterhin wurde eine reale Messung durchgeführt deren Auswertungsergebnisse im Vortrag präsentiert und diskutiert werden.

## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-1.003**

### *Feldkalibrierung von dreiachsigen Magnetometern*

**Virgil, C.\*, Auster, H.-U., Richter, I.**

Institut für Geophysik und extraterrestische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Im Vergleich zu Totfeldsensoren erlauben dreiachsige Magnetometer zusätzlich zur Amplitude auch die Bestimmung der Richtung des Magnetfelds. Diese liefert wichtig Zusatzinformationen für eine Vielzahl an Anwendungen, wie z.B. satellitengestützte Vermessung planetarer Magnetfelder. Aber auch in der Geophysik werden solche Sensoren benötigt. Mögliche Anwendungen sind hier beispielsweise VLF-Messungen oder auch Orientierungsbestimmung anhand des Erdmagnetfeldes.

Das Rauschlevel der verbauten Sensoren eines solchen dreikomponentigen Systems liegt in der Regel unter einem Nanotesla. Die tatsächliche Genauigkeit hängt aber von der Kalibrierung ab, welche verglichen mit Totfeldsensoren (wie z.B. Overhausermagnetometer) sehr viel aufwändiger ist. Es muss für jede Komponente der Skalenfaktor und der Offset, sowie die Winkel der Sensoren zueinander bestimmt werden. Erst wenn diese neun Parameter bekannt sind, kann aus den gemessenen Daten die Stärke und Richtung des Magnetfeldes berechnet werden.

In dieser Arbeit wird eine Methode zur Ermittlung dieser Kalibrierparameter vorgestellt. Hierbei wird ein dreiachsiges Fluxgate-Magnetometer an einem Ort mit homogenem Hintergrundmagnetfeld in 24 unterschiedliche Orientierungen gebracht und das Magnetfeld jeweils für 20 s gemessen. Durch gleichzeitige Messung der zeitlichen Variationen mit Hilfe eines Totfeldreferenzmagnetometers ist es dann möglich über eine Least-Squares Optimierung die neun Kalibrierparameter zu bestimmen.

Des Weiteren wird der Einfluss von Temperatur, Lagerung des Sensors und Approximation des Hintergrundfeldes auf die Genauigkeit der Kalibrierung untersucht und die Ergebnisse mit Kalibriermessungen aus dem Magnetischen Laboratorium Magnetsrode verglichen.



## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-1.004**

### *Das Luftschiff als Messplattform für magnetische Kartierungen*

**Petzke, M.<sup>\*1</sup>, Hofmeister, P.<sup>2</sup>, Auster, H.-U.<sup>1</sup>, Glaßmeier, K.-H.<sup>1</sup>, Hördt, A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland,

<sup>2</sup>Meeresphysik, Universität Oldenburg, Oldenburg, Deutschland

Unbemannte Flugobjekte (Unmanned aerial vehicle oder UAV) haben in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung in den verschiedenen Gebieten der Geophysik erlangt. Sie finden heute Anwendung in der oberflächennahen Explorationsphysik, der Geoökologie und in der Archäologie. Sie gelten als leicht kontrollierbar, effektiv und kostengünstig im Vergleich zu bemannten Flugsystemen und bodengestützten Messungen.

Bei der Auswahl des geeigneten UAVs spielt nicht nur die benötigte Traglast, sondern auch die Art des Antriebprinzips eine Rolle. So können Benzinmotoren oder Turbinen elektromagnetische Störungen bei der empfindlichen Messelektronik verursachen. Im Gegenzug haben mit Elektromotoren betriebene UAVs den Nachteil, dass bei weniger Gesamttraglast zusätzlich ein Optimum aus schwerer Energieversorgung und ausreichender Flugzeit gefunden werden muss. Dadurch kann die effektive Traglast stark reduziert werden. Wir präsentieren hier ein Flugsystem, das den Vorteil von Elektromotoren mit der Möglichkeit hoher Nutzlast miteinander vereint: Als Messplattform verwenden wir ein unbemanntes Luftschiff, mit dem hochauflösende Kartierungen in geringer Flughöhe geflogen werden können. Dieses hat mit einer Tragkraft von 3 kg eine Flugzeit von etwa 40 Minuten. Als Nutzlast verwenden wir ein Magnetometer, mit dem anthropogene Spuren, zum Beispiel Reste von Kampfmitteln, metallische Versorgungsleitungen oder archäologische Strukturen gefunden werden können.

In diesem Beitrag zeigen wir die Eigenschaften und Besonderheiten des Luftschiffes als Messplattform und präsentieren die Ergebnisse der Messflüge auf unserem Testgelände, die Weiterentwicklung der Flugtechnik und eine kritische Betrachtung der Magnetometerdaten.

## **MA Magnetik/ Erdmagnetismus Poster**

### **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.001**

#### *Über die Möglichkeit durch seismische Wellen in der Ionosphäre Plasmawellen anzuregen*

**Germer, N.<sup>\*</sup>, Hördt, A., Glaßmeier, K.-H.**

Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

In den vergangenen Jahren wurde immer wieder die Vermutung diskutiert, dass durch Erdbeben in der Ionosphäre der Erde Plasmawellen angeregt werden können, deren elektro-magnetische Fluktuationen an Bord niedrig fliegender Satelliten gemessen werden könnten. Ausgehend von einem einfachen 1-dimensionalen Modell haben wir die Möglichkeit einer solchen Anregung untersucht. Das System Erde-Atmosphäre-Ionosphäre wird in unseren Überlegungen durch ein 3-Schichten Modell genähert, bestehend aus zwei Quasi-Halbräumen, Kruste und Ionosphäre, mit einer dazwischen liegenden Atmosphäre. Die Massedichten und sonstige Parameter in diesen Schichten werden als konstant angenommen. Das Erdmagnetfeld sei senkrecht zur Normale der Grenzfläche Atmosphäre-Ionosphäre, was in etwa Bedingungen nahe dem Äquator entspricht.

Die Kopplung seismischer Wellen an akustische Wellen an der Grenzfläche Kruste-Atmosphäre wird durch Reflexions- und Transmissionskoeffizienten für krustenseitig senkrecht zur Grenzfläche einfallende P-Wellen beschrieben. An der Grenzfläche Atmosphäre-Ionosphäre werden Reflexions- und Transmissionsbedingungen diskutiert, die berücksichtigen, dass in der Ionosphäre sowohl akustische als auch magneto-hydrodynamische Störungen angeregt werden können. Die entsprechenden Wellenmoden lassen sich im Rahmen einer 3-Flüssigkeitsnäherung, Neutralgas, Elektronen- und Ionengas, bestimmen, so dass sich entsprechende Wellenwiderstände angeben lassen. Die auf Basis dieser Annahmen berechneten Transmissionskoeffizienten lassen eine Abschätzung des Anteils der in die Ionosphäre einfallenden elastischen Energie zu, der in magnetische Energie umgewandelt wird. Die Abschätzung des maximalen

Effektes aufgrund des einfachen Modelles deutet darauf hin, dass eine messbare Magnetfeldstörung nicht von vornherein ausgeschlossen kann.

## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.002**

### *Rock magnetic fabrics and tectonics of the Nordschwarzwald Granite Complex*

**Grimmer, J.C.\***

Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

The crystalline basement of the northern Schwarzwald predominantly consists of high-grade migmatitic paragneiss-orthogneiss complexes (Central Schwarzwald Gneiss Complex, CSGC) intruded by the huge Nordschwarzwald Granite Complex (NGC). Although they are considered broadly as post-tectonic these granites and a northerly trending gneissic roof pendant display mylonitic to brittle fabrics which document a tens of kilometers long and several hundred meters thick W-dipping shear zone with top-to-W kinematics (i.e. normal-sense of shear). Magnetic fabrics of these generally paramagnetic granites are predominantly controlled by biotite. An E-W-trending magnetic lineation is interpreted to result from E-W oriented hypersolidus flow. Magnetic foliations and field evidence show moderately inclined contact surfaces between granite varieties suggesting that the NGC was essentially built up by subhorizontal sheets. Rapid emplacement and exhumation of the NGC in the footwall of a NNE-trending lithospheric shear zone is indicated by both radiometric ages ranging from 325 to 309 Ma and granitic pebbles in nearby late Carboniferous sedimentary basins. Since footwall and hanging wall of the shear zone were intruded by northerly trending granitic dykes E-W-extension apparently continued to be active during and after cooling of granitic plutons. E-W-extension probably continued during exhumation into the brittle crust as indicated by N-S-striking mesoscale normal faults. Segments of late Variscan, <325 Ma, W-dipping detachments with top-to-W kinematics were also documented in the Odenwald and the southernmost Schwarzwald possibly localizing lithosphere scale reactivation of the Cenozoic Upper Rhinegraben.

## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.003**

### *Results of full tensor magnetic gradient and radiometric measurements in Thuringia, Germany*

**Stolz, R.<sup>1</sup>, Queitsch, M.<sup>1,2</sup>, Schiffler, M.<sup>1,2</sup>, Meyer, U.<sup>3</sup>, Siemon, B.<sup>3</sup>, Steuer, A.<sup>3</sup>, Bock, M.<sup>3</sup>, Goepel, A.<sup>2</sup>, Meyer, M.<sup>4</sup>, Meyer, H.-G.<sup>1</sup>, Kukowski, N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Quantendetektion, Jena, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland, <sup>3</sup>Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hannover, Deutschland, <sup>4</sup>Supracon AG, Jena, Deutschland

Focus of this work are airborne full tensor magnetic gradiometry (FTMG) and radiometric surveys in and around the Thuringian sedimentary basin (central Germany) within the framework of the multidisciplinary project INFLUINS (Integrated Fluid Dynamics in Sedimentary Basins). The emphasis lies on the mapping of fault- and contact zones.

Both instruments used for the surveys are introduced. The FTMG system based on planar-type first-order SQUID (Superconducting Quantum Interference Devices) gradiometers developed at IPHT Jena enables the measurement of all components of the magnetic gradient tensor of the Earth's magnetic field gradient with a resolution of less than 10 pT/m (RMS) as well as three orthogonal magnetic field components. The instrument is mounted in an aerodynamically shaped body and towed by a helicopter with 30 m ground clearance.

The gamma spectrometer for mapping natural nuclides was installed in the helicopter cabin. The spectrometer is of the type RSX-4/5 by Radiation Solutions Inc. The system features a 1024 channel resolution and a fast full spectrum template fitting gain stabilization. First results for radiation mapping from near surface sources are presented. Examples of tensor component and radiometric maps of different scanned areas in Thuringia are presented as well as the instruments performance is analyzed. The magnetic tensor components will be used to interpret the geologic sources down to a depth of about 200m depending on source magnetization. First results are shown.

## Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.004

### *Magnetikmessung zur Detektion von Spuren des Altbergbaus in der Eifel bei Nettersheim*

**Dorn, A.<sup>\*1</sup>, Gurk, M.<sup>2</sup>, Tezkan, B.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Deutschland

In Kooperation mit dem Archäologischem Institut der Universität zu Köln und der Gemeinde Nettersheim in der Eifel wurde im August 2012 in Nettersheim eine Messung des magnetischen Totalfeldes sowie dessen Gradient durchgeführt. Das Messgebiet umfasst die Gemeinde Nettersheim und deren Nachbarorte. Es wurden Nord-Süd und Ost-West Profile gemessen um das Gebiet flächenmäßig abzudecken. Dabei beträgt der Abstand der Messpunkte 4m-10m.

Die Gemeinde Nettersheim ist ein Teil des Deutsch-Belgischen Naturparks Nordeifel und weist eine Vielfachheit an geologischen, biologischer und archäologischer Gegebenheiten auf z.B. die archäologischen Ausgrabungen an der Görresburg, ein römischer Tempelbezirk.

Während der Ausgrabungen wurden auch Hinweise auf Verhüttung von Eisenerz gefunden. Die Landschaft lässt außerdem auch auf Spuren von Altbergbau schließen. Ziel der Messkampagne ist es Verdachtsflächen des Altbergbaus zu finden sowie das Erkunden von Verhüttungsplätzen sowie geologischer Strukturen.

Gemessen wurde mit dem Overhauser GSM19 sowie dem PPM GSM19. Aufgezeichnet wurden sowohl Totalfeld als auch Gradienten Daten. Zusätzlich wurden Suszeptibilitäten mit dem Kappameter S30 gemessen und eine lokale Basistation aufgebaut um die Daten Tagesgang zu korrigieren.

Erste Ergebnisse der Daten lassen auf Spuren von Eisenerz schließen, die mit geologischen Karten übereinstimmen. Darüberhinaus werden auf dem Poster Ergebnisse der Modellierung präsentiert.

## Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.005

### *Joint geophysical investigation of a small scale magnetic anomaly near Gotha, Germany*

**Queitsch, M.<sup>\*1</sup>, Schiffler, M.<sup>1</sup>, Goepel, A.<sup>1</sup>, Stolz, R.<sup>2</sup>, Guenther, T.<sup>3</sup>, Malz, A.<sup>1</sup>, Meyer, M.<sup>4</sup>, Meyer, H.-G.<sup>2</sup>, Kukowski, N.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Jena, Deutschland, <sup>3</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland, <sup>4</sup>Supracon AG, Jena, Deutschland

In the framework of the multidisciplinary project INFLUINS (Integrated Fluid Dynamics in Sedimentary Basins) several airborne surveys using a full tensor magnetic gradiometer (FTMG) system were conducted in and around the Thuringian basin (central Germany). One of the main goals was to map magnetic anomalies along major fault zones in this sedimentary basin. In most survey areas low signal amplitudes were observed caused by very low magnetization of the material. Due to the high lateral resolution of a magnetic gradiometer system and a flight line spacing of only 50 m we were able to detect small magnetic lineaments. Especially close to Gotha an NW-SE striking anomaly with a length of 1.5 km was detected, which corresponds very well with existing geologic models of the Eichenberg-Gotha-Saalfeld fault zone (EGS). However, the strength of the anomaly cannot be explained by the structure (normal fault) and the petrophysical properties (low susceptibilities) of this model. Therefore, we hypothesize that the source of the anomaly must be related to an anomalous magnetization in the fault plane.

In order to analyze this geologic feature we performed a 3D inversion of the magnetic field data. In addition to the airborne data sets we conducted several ground based measurements such as dc-geo-electrical measurements and frequency domain electromagnetics (FDEM) to locate the fault. Unfortunately, the depth of penetration of the FDEM measurements was not deep enough to image the fault. The geo-electrical measurements were able to image the fault zone.

In this study we focus on the results of the 3D inversion of the airborne data set and compare them with existing structural geological models. In addition, the result of the 2D electrical resistivity tomography is presented which shows a lower resistivity in the fault zone. Joint interpretation of both independent methods leads to the presumption that the source of the magnetization can be a fluid induced impregnation with iron-oxide bearing minerals in the vicinity of the EGS fault plane which has to be verified in future.

## Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.006

### *Ein 3D Modell des Magnetfeldes am westlichen südamerikanischen Kontinentalrand*

**Berndt, E.\*, Götze, H.-J.\***

Institut für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik, CAU Kiel, Kiel, Deutschland

Kann ein Dichtemodell mit gut abgesicherter Geometrie und Dichte direkt in ein magnetisches Modell mit derselben Geometrie und entsprechenden Suszeptibilitäten übertragen werden? Dies war die Fragestellung für eine Studie im on- und off-shore Gebiet in den Zentralen Anden zwischen 20 - 29° S und 74 - 61° W. Das 3D-Dichtemodell wurde bereits von Prezzi (2009) kompiliert und ist durch refraktions- und reflexionsseismische, seismologische, EM-, Temperatur- und petrologische "Constraints" abgesichert. Zur Modellierung des magnetischen Feldes wird die z-Komponente des "NGDC-720 lithospheric magnetic model" verwendet. Diese Daten sind eine Kombination aus Satellitenmessungen der CHAMP-Satellitenmission, mariner-, Aero- und Bodenmessungen (EMAG2). Für die Suszeptibilitäten der Modellkörper wurden Literaturwerte (Clark, 1997) übernommen. Damit haben wir versucht, das Modellmagnetfeld dem NGDC-720 Daten anzupassen. Eventuell vorhandene remanente Gesteinsmagnetisierungen blieben unberücksichtigt. Diese sind vor allem durch starke kurzwellige Anomalien auf der küstennahen Nascaplatte charakterisiert.

Dichte- und Magnetikmodell wurden mit der Modelliersoftware IGMAS+ modelliert, wobei zur besseren Feldanpassung des Magnetfeldes auch Teilungen und Bearbeitungen der Körper sowie die Überlagerung mit Voxeln erfolgte. Parallelverlaufende Anomalien auf der ozeanischen Platte werden auf dem Kontinent vereinzelt durch zirkuläre Anomalien abgelöst. Während auf dem Kontinent die langwelligen Feldkomponenten der gemessenen und modellierten Anomalien gut übereinstimmen, stellt die Modellierung der Amplitude und der Phase von kurzwelligen Anomalien eine Herausforderung dar. Die Magnetisierung tieferer Modellbereiche gibt das langwellige Magnetfeld vor, während die Ober- und Unterkruste kurzwellige Anomalien verursachen. Mit großer Wahrscheinlichkeit werden die krustalen Strukturen durch remanente Magnetisierung überlagert. Die Modellierung der z-Komponente ergab wesentliche Verbesserungen bei der Modellanpassung.

## Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.007

### *Microlevelling of high resolution magnetic gradient tensor data*

**Schiffler, M.<sup>\*1,2</sup>, Queitsch, M.<sup>1,2</sup>, Schneider, M.<sup>2,3</sup>, Stolz, R.<sup>2</sup>, Krech, W.<sup>2</sup>, Meyer, H.-G.<sup>2</sup>, Kukowski, N.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Quantendetektion, Jena, Deutschland, <sup>3</sup>Institute of Biomedical Engineering and Informatics, Ilmenau University of Technology, Ilmenau, Deutschland

Geomagnetic survey data obtained with Superconductive Quantum Interference Device (SQUID) magnetometers and gradiometers offer a high signal-to-noise ratio and a high magnetic as well as spatial resolution. Single-channel gradiometer setups or Full Tensor Magnetic Gradiometry (FTMG) systems using at least five gradiometers enable fast mapping of a single gradient or the complete Earth's magnetic field gradient tensor either in ground-based or airborne operation, respectively. Airborne SQUID-FTMG data show in magnetically calm regions an overall measurement system noise level of better than 10 pT/m RMS and line-dependent artifacts become visible. These corrugations are usually removed by tie-line levelling and/or micro-levelling. Here standard micro-levelling routines for line-by-line mapping operation exist, but application to the tensor components independently does not preserve tensor properties like the tracelessness and the symmetry. We introduce a new implementation of micro-levelling filters, which are able to preserve the tensor properties. The micro-levelling process is performed via a moving median filter. At each observation point, the median along the distance of the flight line is subtracted and the median in a specific footprint radius is added. For FTMG data we use a geometric median - addition of the entire tensor and multiplication of scalars - which preserves the properties of the tensor. The tensor is either filtered at once or it is split up into structural (Eigenvalues) and rotational (Eigenvectors or idempotences) components and they are filtered individually. The rotational part herein is described with quaternion representation. We discuss the impact of the different micro-levelling methods on data quality. Results of the new methods applied to example data acquired with SQUID gradiometer systems during ground-based and airborne surveys are represented.

## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.008**

### *Magnetic properties and anisotropy of salt rocks: First results of low-field magnetic measurements* **Schmidt, V.\*, Heinrich, F.C.**

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland

The anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) of rocks can give useful information on their deformation. The AMS can be measured fast, precisely, and without laborious sample preparation. During the Zechstein, extensive deposits of rock salt and potash salts such as carnallite and sylvinite were formed. These deposits play an important role in deformation processes due to their special geomechanical properties. However, the AMS method is not yet established in salt rocks, because pure salt is very weakly magnetic and therefore thought to be ill-suited for magnetic anisotropy studies. However, in some salt rocks there are ferromagnetic and paramagnetic accessory minerals with strong anisotropy like hematite and clay-minerals which could produce an AMS when they are aligned. Hematite is a very resistant mineral and the investigation of its alignment using AMS measurements might give additional information on the deformation history. Hematite is also responsible for the red color of numerous salt rocks, especially potash salts. Therefore, it could be possible that during deformation a magnetic anisotropy has been generated in these rocks.

We have investigated different salt samples from a salt mine in Sondershausen (Thuringia) and from the Gorleben salt dome (Lower Saxony). The values of the low-field magnetic susceptibility generally increase from white rock salt to dark red sylvinite. For rock salt, the susceptibility varies from  $-14 \times 10^{-6}$  [SI] to  $-7 \times 10^{-6}$  [SI] and some samples show a slight anisotropy. The carnallite samples have susceptibilities from  $8 \times 10^{-6}$  to  $98 \times 10^{-6}$ , and some of them are anisotropic. The sylvinite sample has the highest susceptibility of about  $200 \times 10^{-6}$  and is anisotropic. In all samples, the anisotropy (difference between maximum and minimum susceptibility) reaches values of  $2 \times 10^{-6}$ , which is very weak compared to other rocks. Therefore, more sensitive high-field torque measurements are planned. In order to interpret the measured susceptibilities and anisotropies correctly, it is important to know the mineralogical composition of the samples and the intrinsic magnetic properties of pure salt minerals. To this end, microprobe, microscopy and chemical analyses will be used. Moreover, magnetic measurements of pure single crystals will complement the investigations.

## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.009**

### *Die Empirische Moden-Dekomposition als Hilfsmittel zur Extrahierung und Charakterisierung planetarer Wellenmoden in geomagnetischen Zeitreihen* **Frühauff, D.\*, Glaßmeier, K.-H.**

Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Bereits seit dem späten 19. Jahrhundert werden an vielen Bodenstationen in Deutschland die Variationen des erdmagnetischen Feldes aufgenommen. Diese Variationen werden unter anderem durch planetare Wellenerscheinungen (Rossby-Wellen) in den oberen atmosphärischen Schichten zwischen der Stratosphäre und der Ionosphäre getrieben. Insbesondere Oszillationen mit Perioden von etwa 5, 10 und 16 Tagen sind hierbei von Bedeutung.

Typische Untersuchungen haben sich in der Vergangenheit der Fourier-Analyse und dynamischer Spektren bedient um diese charakteristischen Oszillationen nachzuweisen. Als alternatives Tool zur Analyse von geomagnetischen Variationen soll die Empirische Moden-Dekomposition vorgeführt werden. Im Gegensatz zur Fourier-Analyse handelt es sich hierbei um ein vollständig adaptives Zerlegungsverfahren, das ohne Einschränkungen auch auf nicht-stationäre und auf durch nicht-lineare Prozesse getriebene Phänomene angewendet werden kann. Bei den daraus resultierenden Komponenten handelt es sich daher um sowohl frequenz- als auch amplitudenmodulierte Anteile.

Die der Arbeit zugrundeliegenden Daten entstammen dem Geomagnetischen Observatorium Niemegk und umfassen Tagesmittelwerte zwischen den Jahren 1912 und 2012. Mit Hilfe der Empirischen Moden-Dekomposition ist es möglich, beispielsweise die 5-Tage-Welle direkt aus diesen Zeitreihen zu extrahieren. Darüber hinaus kann über die Analyse der Amplitudenmodulation dieser Welle eindeutig der Einfluss der solaren Aktivität (darunter Schwabe-, Hale- und Gleissberg-Zyklus) identifiziert werden.

## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.010**

### *Weiterentwicklung einer Software zur Kampfmittelsuche mittels Oberflächenmagnetikdaten*

**Schmitt, S.\*, Hördt, A., Virgil, C., Stebner, H.**

IGEP, TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

In vielen Ländern stellen nicht explodierte Kampfmittel (UXO) noch immer eine Gefahr dar. Die Bergung ist oftmals mit hohen Kosten und Umständen verbunden, sodass eine genaue Lokalisierung und Klassifizierung der UXO-Objekte wichtig ist.

In dieser Arbeit wurde eine Software weiterentwickelt, die Lage und magnetisches Moment von Dipolen mit Hilfe von inverser Modellierung aus Oberflächenmagnetikdaten bestimmt.

Im einzelnen wurde die Aussagekraft der Ergebnisse durch die Berechnung der statistischen Fehler der Inversionsparameter verbessert und eine automatische Anpassung mehrerer Dipole an die Messdaten im Programm implementiert. Diese liefert sehr gute Ergebnisse, insofern die Messdaten keine großen statistischen Abweichungen oder Anordnungen nahe beieinander liegender Dipolquellen beinhalten. Vor allem in letzterem Fall gestaltet sich die genaue Berechnung der Inversionsparameter schwierig, allerdings erlaubt eine Filterung der Differenzdaten zwischen Modell und Messung nun ggf. mehr Aussagen über die Anzahl und Lage von Dipolquellen zu treffen. Bei der Auswertung realer Messdaten erwiesen sich vor allem Schwankungen des Erdmagnetfeldes als problematisch, dennoch führte die automatische Anpassung von Dipolen zu guten Ergebnissen.

## **Magnetik/ Erdmagnetismus MA-P.011**

### *Untersuchung der Magnetisierung von Kampfmitteln und Kampfmittelimitaten*

**Kuhn, E.\*, Virgil, C., Heyner, D., Hördt, A.**

Institut für Geophysik und extraterrestische Physik (IGEP), TU Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

Auch 68 Jahre nach Ende des Zweiten Weltkriegs werden in Deutschland Kampfmittel gefunden, die eine Bedrohung für die Allgemeinheit darstellen. Kampfmittelräumdienste nutzen Magnetikverfahren zur Lokalisierung solcher Blindgänger, wobei eine korrekte Annahme über die Magnetisierung der Objekte für die Bestimmung der genauen Position und Abschätzung der Gefährlichkeit entscheidend ist. Einige Arbeiten weisen darauf hin, dass Kampfmittel durch den Aufprall auf den Boden schockentmagnetisiert werden und ihren remanenten Anteil zur Magnetisierung verlieren. Folglich wird der remanente Anteil bei Inversionen häufig vernachlässigt.

Daher wurde die Hypothese der Schockentmagnetisierung überprüft und der remanente und induzierte Anteil mithilfe einer Anlage getrennt untersucht. In dieser Anlage wurden die Testkörper rotiert und das Magnetfeld (vektoriell) an zwei Positionen zusammen mit dem jeweiligen Rotationswinkel gemessen. Da sich der induzierte Anteil, im Gegensatz zum remanenten, nach dem Hintergrundfeld richtet, können beide Anteile in der Analyse separiert werden.

Untersucht wurden drei Hohlzylinder als Kampfmittelimitate, sowie 21 entschärfte Kampfmittel in einem Munitionslager bei Mecklenburg-Vorpommern.

Die Kampfmittel, die nicht auf den Boden aufgeschlagen sind, weisen einerseits eine höhere remanente Magnetisierung auf als die tatsächlich abgeworfenen, was die Hypothese der Schockentmagnetisierung stützen würde. Andererseits gibt es aber abgeworfene Objekte, die eine signifikante, nicht vernachlässigbare Remanenz aufweisen. Möglicherweise ist Schockentmagnetisierung ein eher sporadisch auftretendes Phänomen, so dass die generelle Vernachlässigung der Remanenz zu Interpretationsfehlern führen würde.

# MG Marine Geophysik

## Marine Geophysik MG-1.001

*Morphologie, Dynamik und Geogefahren von submarinen Rutschungen im Bereich des Agadir Canyons, NW Afrika. Erste Ergebnisse der Maria S. Merian Fahrt MSM32*

**Krastel, S.<sup>1</sup>, Wynn, R.B.<sup>2</sup>, Feldens, P.<sup>1</sup>, Unvericht, D.<sup>1</sup>, Glogowski, S.<sup>3</sup>, MSM32 Scientific Party,<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland, <sup>2</sup>National Oceanography Centre Southampton, Southampton, UK, <sup>3</sup>GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Energie und Rohstoffe, Kiel, Deutschland

Der Agadir Canyon ist einer der größten Canyons der Welt, durch den große submarine sedimentäre Gravitationsströme in das Agadir Becken und das marokkanische Turbiditsystem transportiert werden. Während das Agadir Becken und das dazugehörige Turbiditsystem sehr gut untersucht sind, existieren fast keine Daten aus dem Agadir Canyon, der das Herkunftsgebiet der großen Turbiditströme darstellt. Die Beantwortung der Frage, warum bei einigen submarinen Hangrutschungen kohärente Blöcke auf ihrer hangabwärts gerichteten Passage bestehen bleiben, während andere Rutschungen sich komplett mischen, ist eine große wissenschaftliche Herausforderung; der Agadir Canyon bietet hervorragende Möglichkeiten, um eine Antwort auf diese Frage zu finden.

Während der Maria S. Merian Fahrt MSM32 vom 25.09. - 30.10.2013 wurde ein dichtes Netz aus hydroakustischen Daten und ca. 1500 km seismischer 2D-Daten aufgezeichnet. Ca. 1000 km<sup>2</sup> Meeresboden wurden im Rahmen von drei TOBI-Einsätzen (tief-geschlepptes Sidescan Sonar des National Oceanography Centre Southampton) detailliert abgebildet. Insgesamt wurden 186 Kernmeter mittels Schwerelot und zahlreiche Proben mittels Großkastengreifer gewonnen. Die neuen Daten zeigen, dass der Agadir Canyon das Herkunftsgebiet der weltweit größten sedimentären Gravitationsströme ist. Bis zu 160 km<sup>3</sup> Sediment wurden während einzelner Ereignisse in die Tiefsee-Becken transportiert. Große Abrisskanten von Rutschungen wurden südlich des Agadir-Canyon entdeckt. Das Rutschungsmaterial tritt in ca. 2500 m Wassertiefe in den Canyon ein. Von dort wird das Material noch mindestens 200 km im Canyon als Schuttstrom transportiert. Vorläufige Altersabschätzungen deuten an, dass die letzte große Rutschung aus diesem Gebiet vor ca. 130.000 Jahren stattgefunden hat. Lebende Kaltwasserkorallen wurden in einem großen Hügelfeld nördlich des Agadir Canyons beprobt. Unseres Wissens nach sind dies die ersten Funde lebender Kaltwasserkorallen vor Marokko (mit Ausnahme des Golf von Cádiz). Sie stellen damit ein wichtiges Bindeglied zwischen den bekannten Kaltwasser-Korallen Vorkommen vor Mauretanien und im Golf von Cádiz dar.

## Marine Geophysik MG-1.002

*Hydrothermale Aktivitäten entlang des Zentralindischen Rückens - magnetische und strukturgeologische Untersuchungen*

**Bartsch, C.\*, Barckhausen, U.**

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Das Forschungsprojekt INDEX der BGR Hannover dient der Untersuchung eines aktiven Spreizungssystems im südwestlichen Indischen Ozean im Hinblick auf Hydrothermalfelder und deren Rohstoffhoffigkeit. Basierend auf bathymetrischen und magnetischen Daten konnten Indikatoren für hydrothermale Aktivitäten definiert werden, die Abhängigkeiten von der Geometrie des Rückens sowie der Magmenkammern zeigen. Der südliche Zentralindische Rücken (CIR) ist mit durchschnittlich 4,7 cm/a ein langsam spreizendes System und streicht Nord-Süd. Zwischen 21°S und 25°30'S gliedert sich der Rücken in 6 Abschnitte, die durch kleinere Versätze und eine Transformstörung getrennt werden. Definiert wird der Rücken in diesem Bereich von einem asymmetrischen rift valley mit deutlich steileren Flanken auf der östlichen Seite. Hinweise auf eine Verlagerung der Rückenachse und vermehrte magmatische Aktivitäten in Form von Seamounts lassen sich im Süden des CIR finden. Solche Kombinationen tektonischer und magmatischer Ereignisse sind Indikatoren für hydrothermale Aktivitäten. Abschiebungen und detachment faults dienen als Wegsamkeiten für Fluide, doch auch eine Magmenkammer als Wärmequelle im näheren Umfeld ist eine Voraussetzung.

Die zwei bekannten aktiven Hydrothermalfelder entlang des CIR sind beide durch eine Umgebung bestehend aus großflächig ausgeflossenen Laven (sheet flows) gekennzeichnet. Sie befinden sich an den jeweils steileren östlichen Rift Flanken und liegen relativ nah an den Diskontinuitäten am Ende der Rückenabschnitte. Es konnten Störungssysteme kartiert werden, die sich an einigen Stellen kreuzen und somit hervorragende Wegsamkeiten für die Fluide bilden. Detaillierte magnetische Vermessungen ergaben über zwei aktiven Hydrothermalfeldern ein klares Minimum der magnetischen Suszeptibilität der Basalte. Verantwortlich dafür ist ein Prozess, der als Metallauslaugung beschrieben wird und Bestandteil des hydrothermalen Entwicklungszykluses ist. 3D vorwärts Modellierungen dieser Daten geben einen Einblick in die Dimensionen des hydrothermal alterierten Gesteinskörpers im Meeresboden.

### **Marine Geophysik MG-1.003**

*The sedimentary cover of the eastern Agulhas Ridge as seen in multichannel seismic reflection profiles: indications for changes in deep ocean circulation*

**Gruetzner, J.\*, Uenzelmann-Neben, G.**

Alfred-Wegener-Institut, Geophysik, Bremerhaven, Deutschland

The Agulhas Ridge forms an elongated part of the Agulhas-Falkland Fracture Zone (AFFZ) (43° S/9° E - 41° S/16° E) rising more than 2,000 m above the surrounding seafloor. Constituting a topographic barrier the ridge has a strong influence on the exchange of water masses between high and lower latitudes. While Antarctic Bottomwater (AABW) and Circumpolar Deepwater (CDW) originating in the Southern Ocean provide the inflow of cold water masses in larger water depths, the Agulhas leakage is the main source of warm and salty waters carried towards the Subpolar North Atlantic as the upper limb of the Meridional Overturning Circulation (MOC). In order to track past changes in this circulation pattern 5400 km of high-resolution multichannel seismic reflection data were acquired during RV Maria S. Merian cruise MSM 19/2 in the Agulhas Ridge area. Here we present processed profiles and a preliminary interpretation from the hitherto unexplored eastern plateau of the ridge and the area between the plateau and the Cape Rise Seamounts. Via crosscorrelation with ODP Leg 177 drillsites and a reconnaissance survey, prominent reflectors marking the early Oligocene, the middle Miocene and the base of the Pleistocene were identified. Sediment drifts deposited between these erosional surfaces indicate steady contour current activity at various depth levels. The chronological development of those drift structures studied both in 2d and 3d (depth to horizon and thickness maps) provide information on the displacement of depocenters and thus current pathways over time.

### **Marine Geophysik MG-1.004**

*A new Shallow Water Cabled OBS System off California*

**Rademacher, H.\*, Pearcey, C., Mangano, G., Guralp, C.**

Guralp Systems Ltd., Aldermaston, UK

During the summer and fall of 2013 we installed a turnkey cabled network of four combination broadband velocity/acceleration ocean bottom sensors (OBS) on the sea floor near Point Buchon in the Northeastern Pacific Ocean off the coast of Central California. We implemented a novel network design by daisy-chaining the instruments to one single multistranded cable. The signals of each station are digitized in-situ and then transmitted via dedicated optical fiber links inside the cable to a shore station. From there they are fed in real time via a cell phone modem into several seismic networks in California. The goal of this dense network is to monitor the microseismicity of two offshore faults running parallel to the strike of the San Andreas Fault. However, because the network is installed in rather shallow water near the coast, the action of waves and swell at the sea surface affect the sensor registrations much stronger as compared to the typical deep water installation of OBS equipment. We will report about the challenges of installing and maintaining the network and present some initial results.



## Marine Geophysik MG-2.001

### *The magmatic evolution of the Western and High Plateau of the Manihiki Plateau, Central Pacific*

**Hochmuth, K.\*, Gohl, K., Uenzelmann-Neben, G.**

Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, Deutschland

The Manihiki Plateau is a Large Igneous Province (LIP) located in the Central Pacific. It is assumed, that the formation of the Manihiki Plateau took place during the early Cretaceous in multiple volcanic stages as part of the "Super-LIP" Ontong-Java-Nui. The plateau consists of several sub-plateaus of which the Western Plateau und High Plateau are the largest. In addressing the plateau's magmatic evolutionary history, one of the key questions is whether all sub-plateaus experienced the same magmatic history or if distinct phases of igneous or tectonic processes led to its fragmentation. During the RV Sonne cruise SO224 in 2012; we collected two deep crustal seismic refraction/wide-angle reflection lines, crossing the two main sub-plateaus. Modeling of P- and S-wave phases reveals the different crustal nature of both sub-plateaus. On the High Plateau, the 20 km thick crust is divided into four seismic units, interpreted to range from basaltic composition in the uppermost crust to peridotitic composition in the middle and lower crust. The Western Plateau on the other hand shows multiple rift structures and no indications of basalt flows. With a maximum of 17 km crustal thickness, the Western Plateau is also thinner than the High Plateau. The upper basement layers show relatively low P-wave velocities (3.0 - 5.0 km/s), which infers that on the Western Plateau these layers consist of volcanoclastic and carbonatic rocks rather than basaltic flow units. Later volcanic stages may be restricted to the High Plateau with a possible eastward trend in the center of volcanic activity. Extensive secondary volcanism does not seem to have occurred on the Western Plateau, and its later deformation is mainly caused by tectonic extension and rifting.

## Marine Geophysik MG-2.002

### *New insights into the magmatic history of the Manihiki Plateau*

**Pietsch, R.\*, Uenzelmann-Neben, G.**

Alfred-Wegener-Institut, Geophysik, Bremerhaven, Deutschland

The Manihiki Plateau, a Large Igneous Province (LIP) formed during the Early Cretaceous, has a multistage volcanic evolution history, which so far has been poorly constrained and understood. For the first time, the magmatic history can be studied in detail using a high resolution seismic reflection dataset of enhanced quality obtained during cruise SO224 of RV Sonne. Incorporating DSDP Site 317, a correlation of lithology and age to the observed reflectors is possible, e.g. age of the top of basalt ~120 Ma. Below the top of basalt, additional intra-basalt reflectors hint on at least three eruptional phases with multiple extrusion centers. For the lowermost identifiable reflector a first age estimation based on stacking velocities and given deposition rates indicate an age of at least 134 Ma. After the initial emplacement period an upper reflector package in the sedimentary column gives evidence for another later phase of volcanic activity during the Santonian/Campanian. Further analysis of the detailed seismic features will expose a tectonic setting that may be allocated to the break-up of the Ontong-Java and the Hikurangi LIPs.

## Marine Geophysik MG-2.003

### *Der plattentektonische Ursprung der westlichen Karibik: neue Erkenntnisse aus magnetischen Daten*

**Barckhausen, U.\*<sup>1</sup>, Engels, U.<sup>1</sup>, Hoernle, K.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Energie und Rohstoffe, Kiel, Deutschland

Auf der Forschungsfahrt Me81/2 wurden in der westlichen Karibik marin-magnetische Messungen mit bis zu sechs gleichzeitig eingesetzten Magnetometern durchgeführt. Dabei handelte es sich um ein geschlepptes Gradiometer bestehend aus zwei Overhauser-Sensoren, zwei geschleppten Vektormagnetometern und zwei fest auf dem Schiff montierten Vektormagnetometern. Während aus den Daten des Gradiometers

variationsfreie Anomalien des Totalfeldes berechnet werden können, bieten Vektordaten die Möglichkeit, umfangreiche Analysemethoden im Orts- und Wellenzahlbereich anzuwenden. Bei den geschleppten Vektormagnetometern ist die genaue Kontrolle der Lage des Sensors im Wasser problematisch. Diese Schwierigkeit besteht nicht bei den auf dem Schiff gemessenen Vektordaten, dafür erfordern diese jedoch eine aufwendige Kompensation des magnetischen Eigenfeldes des Schiffes.

Die Messungen dienen dem Ziel, die in der Literatur kontrovers diskutierte Herkunft der basaltischen Gesteine der westkaribischen Plattform zu klären. Insbesondere die Bestimmung von Position und Streichrichtungen der magnetischen Anomalien im Colombia basin bietet einen Ansatz, zwischen einem möglichen Ursprung der vermutlich ozeanischen Kruste im Pazifik und einer ebenfalls diskutierten interamerikanischen Bildung zu unterscheiden. Auf sechs langen Profilen im Colombia basin und angrenzenden Gebieten können konsistente Streichrichtungen zwischen N70°E und N100°E nachgewiesen werden. Die Bearbeitung von drei aeromagnetischen Profilen, die das Untersuchungsgebiet in unterschiedlichen Richtungen kreuzen, ergibt sehr ähnliche Ergebnisse.

Die nachgewiesenen Streichrichtungen und das vermutete spätkretazische Alter der Kruste im Colombia basin passen nicht zu einem pazifischen Ursprung. Stattdessen vermuten wir, dass zwischen den Nord- und Südamerikanischen Kontinenten in der Kreidezeit ein ozeanisches Spreizungszentrum existierte. Ein erheblicher Teil der dort gebildete Kruste wurde entweder zeitgleich oder kurz nach seiner Bildung durch massiven Vulkanismus überprägt und bildet heute die Caribbean Large Igneous Province.

## **Marine Geophysik MG-2.004**

### *Electromagnetic imaging of sediment distribution and stratification in continental shelf systems*

**Müller, H.\*<sup>1</sup>, Baasch, B.<sup>2</sup>, von Dobeneck, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften und Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Bremen, Deutschland, <sup>2</sup>PGS Exploration, Weybridge, UK

Given the environmental and economic relevance of ocean margins and their geophysical exploration, there is growing need to characterize near-surface sediments in coastal and continental shelf systems by more than just their acoustic properties. The bottom towed, long range benthic profiler MARUM NERIDIS III (NERitic DIScoverer) hosts a concentric loop controlled source electromagnetic (EM) sensor, a CTD with turbidity meter and a high speed flash camera system. The EM method coevally quantifies electric and magnetic properties of the seafloor. Electric conductivity is used to map pore water salinity (seepage), sediment porosity and to deduct grain-size. Magnetic susceptibility is used as an integral measure of iron/heavy mineral content, redox state and contamination level in the topmost 1-2 m of the sediment. Together, both parameters permit to distinguish gradual near-surface facies changes.

We present results from 14 sub-meter resolution EM profiles collected on the NW Iberian continental shelf with a total length of more than 450 km. Major lithofacies units and transitions are calibrated with sediment samples and classified in a phase space diagram of magnetic susceptibility, porosity and acoustic backscatter. The facies distribution is mapped to identify patterns of sediment transport and deposition. Megaripples have been identified in water depths of 130-150 m and characterized by sediment composition and morphology. Asymmetry of porosity and susceptibility along bedforms indicates a general westward transport of fine sediments. 1D inversion of multi-frequency EM conductivity data illuminates sediment stratification and porosity gradients down to 3 m below surface. We thereby estimate the thickness of mud-drapes in morphological troughs and the temporal evolution of the Galician mud-belt. All presently available data indicate an eminent potential of EM profiling for assessing the complex distribution, accumulation and diagenesis of surficial sediments in coastal and continental shelf systems dedicated to numerous scientific and commercial aspects.

## **Marine Geophysik MG-2.005**

*First appearance of the Deep Western Boundary Current in the Bounty Trough region, east of New Zealand*

**Horn, M.\***, **Uenzelmann-Neben, G.**

Alfred-Wegener-Institut, Geophysik, Bremerhaven, Deutschland

The Bounty Trough lies east of the Tasmanian Gateway, passage of the main deep inflow to the Pacific Ocean manifested as the Deep Western Boundary Current (DWBC). In the Bounty Trough Region tranquil flow conditions allow sediment deposition that records changes in the DWBC flow. It has been the target of ODP Leg 181 Site 1122 in 1999. Using five new high-resolution seismic profiles to incorporate Site 1122 into the present seismic stratigraphy of the Bounty Trough contour current deposits could be observed on seismic data and are confirmed by lithological extrapolation. The new dataset allows us to decipher the first appearance of a branch of the DWBC meandering into the Bounty Trough at 16.7 to 20 Ma. East of the trough in the Bounty Fan area, we have identified four different drift deposits of the DWBC. The deepest two drifts are older than the opening of the Tasmanian Gateway. They are the first direct observations of a pre-Oligocene deep circulation at the eastern New Zealand margin. Additionally, migration of the drifts crests are interpreted to indicate modifications in core flowpath of the DWBC due to changes in environmental conditions. The oldest modification is linked to the Palaeocene/Eocene warming while the later three are related to the onset of the Antarctic Circumpolar Current, its intensification after the Miocene Climatic Optimum and the increased sediment load of the DWBC due to onset of the Bounty Channel turbidity currents.

## **MG Marine Geophysik Poster**

### **Marine Geophysik MG-P.001**

*New gravity and magnetics map of eastern part of Azores*

**Dehghani, A.\***

Institut für Geophysik, Geowissenschaften, Hamburg, Deutschland

The Azores are of volcanic origin and the volcanic activities are still occurs in the area. The main tectonic features in the eastern part of Azores are the Gloria Fault (GF) and São Miguel volcanic Island. The GF is an E-W strike-slip fault and can be traced by bathymetry.

In the past decade many geological and geophysical investigations were dedicated to the study of tectonic features in the eastern part of Azores. Two of these cruises were organized by the Institute of Geophysics, University of Hamburg, Germany, in the years 2009 and 2012.

In 2009 during the Meteor cruise M79-2 a total of 5500 km new Gravity and 2000 km new magnetic data were collected along some 60 Profiles. During the Poseidon cruise in the year 2012 some 2000 km new gravity and magnetic data were collected along two E-W profiles in the eastern part of Azores. The new gravity data were recorded with the modern Air-Sea-Gravimeter of Bodenseewerk KSS 31M and the new magnetic data with the Gradiometer SeaSpy.

All new potential data were combined with the available data of the data base GEODAS and the new gravity anomaly maps (Free-Air and Bouguer) and the new magnetic anomaly map were produced. The maps show clearly the tectonic features in the area. The GF can be traced very well on both gravity and magnetic anomaly maps. Most of the small hills around the São Miguel Island are shown up in the magnetic anomaly map as strong magnetic anomaly.

The new gravity and magnetic maps and the interpretation of them will be presented. The results of some 2-D modeling along some interesting profiles will be also presented and discussed.

### *Exploration von marinen Massivsulfiden: Perspektiven für elektromagnetische Methoden* **Schwalenberg, K.\*<sup>1</sup>, Engels, M.<sup>1</sup>, Müller, H.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, B1.4 Marine Rohstoffexploration, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Bremen, Deutschland

Im Dezember 2013 hat die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) einen Lizenzantrag zur Erforschung polymetallischer Massivsulfide im Indischen Ozean bei der Internationalen Meeresbodenbehörde eingereicht. Im Rahmen der Vorbereitungen war die BGR bereits auf drei Forschungsfahrten im Untersuchungsgebiet südöstlich von Madagaskar unterwegs und hat umfangreiches Datenmaterial zusammengetragen. Massivsulfidvorkommen bilden sich in Hydrothermalfeldern entlang von mittelozeanischen Spreizungszonen. Sie enthalten neben hohen Anteilen an Buntmetallen (Blei, Kupfer und Zink) auch wertvolle Edelmetalle (Gold, Silber) und verschiedene Spurenelemente (seltene Erden). Typische Vorkommen sind kleinräumig (einige 100 m) und liegen in Wassertiefen von 1000-4000 m.

Massivsulfide gehören zu den elektrisch leitfähigsten natürlichen Gesteinen. Elektrische und elektromagnetische Methoden sind daher besonders zur Detektion und Modellierung geeignet und werden an Land standardmäßig zur Exploration eingesetzt. Im marinen Bereich ist die Situation jedoch komplizierter: Die Messungen werden unter Tiefseebedingungen in einem elektrisch gutleitenden Medium (Meerwasser) auf einer anspruchsvollen Bathymetrie hoher Bodenrauigkeit (Schwarze Raucher) durchgeführt.

Die Arbeitsgruppe Marine Elektromagnetik an der BGR untersucht die Anwendbarkeit verschiedener elektromagnetischer Methoden zur Erkundung von submarinen Massivsulfidvorkommen. Dazu gehören passive Eigenpotentialmessungen (Batterieeffekt) sowie aktive Messungen wie Induzierte Polarisation (Kondensatoreffekt), DC und CSEM (Leitfähigkeitsanomalie). Dazu sind 2013 ein tiefgeschleppter Signalgenerator (TX) und Empfängereinheiten elektrischer Dipole entwickelt worden (Magson GmbH). In Zusammenarbeit mit der Universität Bremen wird derzeit ein magnetisches CSEM Spulensystem auf einem Geräteträger gebaut, der tiefgeschleppt oder stationär abgesetzt eingesetzt werden kann.

Auf der letzten Ausfahrt mit FS SONNE Ende 2013 wurden erstmalig Eigenpotentialanomalien über dem bekannten inaktiven SONNE-Feld im beantragten Lizenzgebiet aufgezeichnet - erste qualitative Ergebnisse werden hier vorgestellt. Der zukünftige Einsatz aktiver Methoden und Modellrechnungen sollen die Anwendbarkeit von marinen EM Methoden zur Exploration von Massivsulfiden im Tiefenbereich von ca. 10 m zeigen.

## Marine Geophysik MG-P.003

*Electrical anisotropy associated with methane seep sites - examples from Opouawe Bank, Hikurangi Margin, New Zealand*

**Rippe, D.<sup>1</sup>, Engels, M.<sup>1</sup>, Schwalenberg, K.<sup>1</sup>, Scholl, C.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, B1.4 Marine Rohstoffexploration, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>CGG Electro Magnetics, Berlin, Deutschland

The Hikurangi Margin off the coast of New Zealand's North Island is characterized by the presence of several methane seep sites and wide-spread bottom simulating reflectors. As part of the multidisciplinary NEMESYS project, a number of geophysical studies were conducted to investigate the variability of methane seepage and the distribution of gas hydrate filled sediments. During cruise SO214 on RV SONNE, marine controlled source electromagnetic (CSEM) data were collected on Opouawe Bank on the Hikurangi Margin. A new bottom-towed, multi-receiver system was used to collect data along three profiles over a number of known seep sites. Initial one-dimensional inversion of these data produced layered models of sub-seafloor resistivity and revealed anomalously high resistivities coincident with several seep sites. However, the inversion did not well constrain the horizontal and vertical extent of these resistivity anomalies, and low-resistivity artifacts and r.m.s. misfits  $> 1$  for the data above the seep sites suggest that a multi-dimensional analysis of the data is required. Therefore, a two-dimensional Occam inversion taking into account regional bathymetry as well as three-dimensional, isotropic forward modeling studies were conducted. The multi-dimensional studies confirmed the presence of anomalously high resistivities (3-30 Ohm\*m) in the top 200 m beneath several seep sites. A possible explanation for these high resistivities is the presence of resistive gas hydrates beneath the seep sites, although the presence of free gas and carbonate crust cannot be completely ruled out. While the observed electrical resistivity anomalies have lateral extents of 500-1000 m, high-resolution, three-dimensional seismic studies, on the other hand, indicate that the seep sites are associated with chimney-like structures with diameters of the order 100-500 m. A possible explanation for the discrepancy between the CSEM and seismic data could be electrical anisotropy caused by vertical fractures associated with the seep structures and resistive gas hydrates forming within them. Three-dimensional, anisotropic forward modeling studies suggest that taking into account electrical anisotropy can reduce the lateral extent of the high resistivity anomalies required to explain the CSEM data. Multi-dimensional, isotropic studies might therefore overestimate the lateral extent, and consequently the volume fraction of gas hydrates present beneath the seep sites.

# MI Modellierung und Imaging

## Modellierung und Imaging MI-1.001

### *Semi-Automated Topology-Conserving Geometry Optimization of the SEAM Model*

**Alvers, M.R.\*<sup>1</sup>, Lahmeyer, B.<sup>2</sup>, Plonka, C.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Transinsight GmbH, Dresden, Deutschland, <sup>2</sup>Statoil ASA, Stavanger, Norwegen

We demonstrate a new method capable of combining interactive geometry modeling with automated geometry optimization through covariance matrix adoption evolution strategy (CMA-ES). CMA-ES is profoundly outperforming other methods and therefore an ideal tool for highly non-linear and complex interdependent problems like 3D-optimization of geophysical models.

We will show different concepts of semi-automated space manipulations with different resolutions combined in a constraint environment. The aspect of user-interaction will be emphasized. The model of application is the SEAM model.

An ideal test scenario for an automated geometry optimization method is the SEAM model. The "SEG Advanced Modeling" project was launched in 2007. The numerical model of Phase 1 represents a 60-block area of the deep-water Gulf of Mexico. In addition to seismic modeling for the 35km by 40km area, non-seismic methods like Gravity, Magnetism and CSEM have been modeled and provided to the research community for testing. The fact that also non-seismic data have been included makes this dataset perfect for testing integrated workflows like for example integrated imaging. The salt geometry of the model is complex and requires a multi-z surface. The strong lateral velocity and density changes cause imaging challenges but are very good targets for potential field modeling. The base of the allochthonous salt is as deep as 12,500 meters, connecting to the top of the autochthonous salt. The smooth surface of the autochthonous salt rises in one area to about 9,000m depth. All components of the gravity gradient tensor and the normal gravity field have been provided for this model.

Geometry optimization uses a meshed-up space of interest with user-controlled resolution, size and position. The first step is to manually disturb the correct SEAM model in order to create a (obviously) wrong model for testing the system. The perturbation was in the order of 1.5 km.

Optimization parameters are the grid legs of the (user-controlled, reset) 3D-mesh. The system can be started and stopped; the mesh can be reset, changed in size, resolution and position. After about one hour of interactive work the residuals are improved and the model seems to reflect the data. We show how good the original model is re-found. In a real world a new seismic migration should proof/disproof the suggested changes. Optimization could be restarted if necessary.

SEAM: <http://cm.seg.org/documents/10161/113898/tle2606r07180720.pdf>

## Modellierung und Imaging MI-1.002

*Numerical modeling and acoustic testing techniques at impact craters on a laboratory scale - what can we learn to better understand meteorite craters?*

**Wünnemann, K.\*<sup>1</sup>, Grosse, C.\*<sup>2</sup>, Güldemeister, N.<sup>1</sup>, Moser, D.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Museum für Naturkunde, Humboldt Universität, Berlin, Deutschland, <sup>2</sup>Lehrstuhl für Zerstörungsfreie Prüfung, Technische Universität München, München, Deutschland

Almost all terrestrial impact craters exhibit a typical geophysical signature. The usually observed circular negative gravity anomaly and reduced seismic velocities in the vicinity of crater structures are presumably related to an approximately hemispherical zone underneath craters where rocks have experienced intense brittle plastic deformation and fracturing during formation. In the framework of the "MEMIN" (multidisciplinary experimental and modeling impact crater research network) project we carried out hypervelocity cratering experiments on a decimeter scale to study the spatiotemporal evolution of the damage zone using ultrasound, acoustic emission techniques, and numerical modeling of crater formation. 2.5-10 mm iron projectiles were shot at 2-5.5 km s<sup>-1</sup> on dry and water-saturated sandstone targets. The target material was characterized before, during and after the impact with high spatial resolution acoustic techniques to detect the extent of the damage zone, the state of rocks therein and to record the growth of cracks. The ultrasound measurements are applied analog to seismic surveys at natural craters but used on a different - i.e. much smaller - scale. We compare the measured data with dynamic models of crater formation, shock, plastic and elastic wave propagation, and tensile/shear failure of rocks in the impacted sandstone blocks. The presence of porosity and pore water significantly affects the propagation of waves. In particular the crushing of pores due to shock compression has to be taken into account. We present preliminary results showing good agreement between experiments and numerical model. In a next step we plan to use the numerical models to upscale the results from laboratory dimensions to the scale of natural impact craters.

## Modellierung und Imaging MI-1.003

*Direct meshless multidimensional magnetotelluric modelling*

**Wittke, J.\*, Tezkan, B.**

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln, Deutschland

In this presentation a new advanced meshless numerical technique to model plane wave electromagnetic fields in multidimensional earth models will be presented. This approximation method originates from the well known Backus-Gilbert method and is used in a meshless local Petrov-Galerkin formulation. It uses a direct discretization, which is employed in a combination of strong and weak partial differential approximation. We use multivariate polynomials in a direct moving least squares method to approximate the integral functionals of the weak formulation. This direct discretization do not need an underlying mesh and no shape functions are used. This decreases the computational time and allows an efficient approximation of the partial differential equations. Towards a goal-oriented adaptive approach, different a-posteriori error estimators will be presented and analyzed. Transferfunctions (eg. app. resistivities and phases) as a function of period are calculated for several 2D magnetotelluric models using the meshless algorithm. We compare successfully the meshless calculations with analytical solutions and with known simulation programs. A comparison between the new meshless algorithm and the well known finite elements will also be discussed during the presentation.

## Modellierung und Imaging MI-1.004

### *How grainshape variations control fluid infiltration into a sediment bed*

**Bartzke, G.\*, Huhn, K.**

MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften und Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Bremen, Deutschland

In aquatic environments the entrainment of single grains and their erosion characteristics are dependent on fluid forcing and grain properties, e.g., grain shape variations. Although this relationship is widely accepted, the mathematical description of the erosion characteristics is still not fully understood. Quantitative flow measurements at the direct vicinity and in the interior of a sediment bed can lead to destruction of the matrix. Thus, it is difficult to measure fluid streaming between the sediment grains in a non-destructive way to provide quantitative evidence of the effects of grain shape variations on the inflow characteristics using laboratory based flume tanks or field investigations. Further attempts to quantify the processes in a sediment bed use conceptual and mathematical approaches, but are limited to smooth highly simplified spherical grains.

To investigate the fluid flow conditions occurring at the direct vicinity and in the interior of a sediment bed, we used a 3D-SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) numerical wave tank as an alternative to the difficult task of in situ measurement.

The model geometry was chosen to mimic typical wave tank dimensions, i.e.,  $X = 2.5$  m,  $Y = 0.35$  m,  $Z = 0.8$  m. Three sets of experiments were designed with a range of ellipsoid grain shape geometries: (1) grains with the long axis oriented in along stream direction, (2) grains with the long axis oriented in across stream, and (3) with the long axis oriented vertically. Each grain ( $D_{50} = 4000$   $\mu\text{m}$ ) was fixed to generate a bed 0.2 m in height. After, the numerical flume was flooded with fluid particles. A wave was introduced using a vertical paddle accelerated to 0.8 m/s perpendicular to the bed.

The results showed that variations in grain shapes in a sediment bed control the amount of flow able to infiltrate the bed. The highest velocities were measured in Experiment (2) where the grains were oriented in the across stream direction. Flow velocities in the bed were 50 % higher in the along stream and 20 % higher in the vertical direction compared to the two other experiments. Consequently, the grain shapes found in a sediment bed control the pore space volume and, hence, the amount of flow able to infiltrate the bed. This indicates that the orientation and shape of grains found in natural environments control erodibility; particles deposited in the along stream direction are more resistant to erosion compared to particles deposited in the across stream direction.

## Modellierung und Imaging MI-2.001

### *Modeling Wave Propagation in Anisotropic Media*

**Oelke, A.\*, Krueger, O.S., Shapiro, S.A.**

Freie Universität Berlin, Geophysik, Berlin, Deutschland

In this study, we numerically investigate the multiple wavefront arrivals from microseismic events in anisotropic heterogeneous media. The influence of anisotropy on the wave propagation can be huge and the shear wave splitting causes additional strong signals in the recorded wavefield. Interfaces within a heterogeneous velocity distribution can cause the occurrence of multiple wavefronts from reflections and conversions. Consequently it is very difficult to identify reflections from hydraulic fractures within such a wavefield record.

In order to extract the corresponding reflection coefficients from microseismic data for further evaluation in terms of reservoir properties it is crucial to understand the recorded wavefield entirely.

We investigate the influence of anisotropy and velocity inhomogeneities using numerical modeling based on a Finite Difference algorithm. Besides a huge shear wave splitting due to anisotropy, we indeed see significant features within the recorded wavefield caused by the velocity distribution.

Exemplary different settings are given and discussed, starting with a homogeneous anisotropic model up to a complex model with properties extracted from the borehole log of a hydraulic fracturing treatment at Horn River Basin. The numerical results will be compared to the real data recordings of induced microseismic events within this anisotropic and heterogeneous environment.



## Modellierung und Imaging MI-2.002

### *3D i-CRS stacking operator in homogeneous isotropic media*

**Abakumov, I.<sup>\*1</sup>, Kashtan, B.<sup>2</sup>, Gajewski, D.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geophysics, University of Hamburg, Hamburg, Deutschland, <sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russische Föderation

Recently a new method, called implicit common reflection surface (i-CRS) stack was developed and successfully applied to synthetic and field data. This method better fits diffracted waves than the conventional common reflection surface (CRS) stack and maintains the high computational efficiency of the CRS stack. The result is an improved stacked section with a higher signal-to-noise ratio. The foregoing studies were carried out for 2D case. However, 3D seismic has become the standard exploration and production tool. Such effects as diffractions or inclination angles of boundaries can't be properly reconstructed using 2D seismic. We present two possible extensions of the i-CRS stacking operator for the 3D case. We find traveltimes of reflected monotypic and converted waves assuming that the reflection interface is (a) locally approximated by the Taylor series or (b) is locally ellipsoidal and that waves are propagated in optical media, i.e., ray paths are straight. Numerical tests showed that the accuracy of both approaches is significantly higher than the one of the standard CRS stacking operator. For the ellipsoidal approximation it is possible to establish analytical links between surface-based kinematic wavefield attributes and parameters of the problem which makes it applicable to heterogeneous media. Further improvements may be achieved by consideration of anisotropic optical media.

## MI Modellierung und Imaging Poster

### Modellierung und Imaging MI-P.001

#### *Überlappende MPI-Kommunikation bei der Finite-Differenzen Simulation seismischer Wellen*

**Schmitz, B.<sup>\*</sup>, Bohlen, T.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Das Programm SOFI3D ist ein Finite-Differenzen Simulationsprogramm für die viskoelastische Wellenausbreitung. Um die Gesamtlaufzeit ("Elapsed Time") von SOFI3D zu verkürzen wird ein gegebenes Gebiet in kleinere Bereiche zerlegt (Gebietszerlegung). Diese können, z.B. bei Verwendung eines HPC-Systems, von je einem eigenen Prozess bearbeitet werden (Datenparallelität). Da die einzelnen Bereiche jedoch nicht komplett unabhängig voneinander betrachtet werden können, muss eine Synchronisation der Daten aus den Randbereichen erfolgen. Um diesen Datenaustausch zwischen den Gebieten abzuwickeln, wird eine Realisierung der Schnittstelle "Message Passing Interface" (MPI) verwendet. In der momentanen Version von SOFI3D findet die Kommunikation synchron statt, d.h. während die Kommunikation zwischen den Prozessen andauert, werden von diesen keine weiteren Aufgaben durchgeführt, sondern sie warten nur auf das Ende der Kommunikation ("Wait Time"). MPI ermöglicht es auch die Kommunikation "nicht-blockierend", d.h. asynchron, durchzuführen. Dadurch kann die Zeit, während der die Prozesse auf das Ende der Kommunikation warten, zum Berechnen der inneren Bereiche (deren Daten nicht direkt von denen aus einem anderen Block abhängig sind) der Teilgebiete genutzt werden. Die "Wait Time" wird also mit Rechenzeit ("CPU Time") überlagert, weshalb dieses Verfahren auch "überlappende Kommunikation" genannt wird. Zur Umsetzung dessen wurden diverse Modifikationen am Quellcode vorgenommen, wie etwa die Aufteilung der Rechen- und Synchronisationsvorgänge in je mindestens zwei getrennte Funktionen. Mit Hilfe der Analyse-Tools "scalasca" und "intel(R) Trace Analyzer and Collector" wurden zur Laufzeit von SOFI3D Daten zum Programmverhalten erhoben. Der Vergleich dieser Daten bezüglich der asynchronen Version mit denen der synchronen Version zeigte, dass die asynchrone Version zur Bearbeitung eines bestimmten Modells zwar weniger Laufzeit benötigt, der "Scaled Speedup" (Verkürzung der Laufzeit durch Verwendung zusätzlicher Prozesse bei gleichbleibender Problemgröße) aber schlechter ist. Dieses Verhalten kann jedoch nicht verallgemeinert werden und im Vergleich zu anderen Modellen variieren. Alles in allem konnte für das betrachtete Modell (fester Eingabedatensatz) bei Verwendung von bis zu 216 Prozessen eine Laufzeitverkürzung von maximal 27,6% und mindestens 18,1% beobachtet werden.

## Modellierung und Imaging MI-P.002

### *Skalierung von gerichteten Kraftquellen an der freien Oberfläche in 2D FD-Modellierungen*

**Groos, L.<sup>\*1</sup>, Forbriger, T.<sup>2</sup>, Bohlen, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>Black Forest Observatory (BFO), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Schiltach, Deutschland

Wir beobachten eine um den Faktor zwei zu kleine Amplitude in 2D Finite Differenzen (FD) Modellierungen mit einer gerichteten Kraftquelle direkt an der freien Oberfläche, wenn die freie Oberfläche über die Spiegelungstechnik nach Levander (1988) implementiert ist und die gleichen Skalierungsfaktoren wie für Quellen innerhalb des Mediums verwendet werden. Das von uns untersuchte 2D-FD-Schema verwendet eine Spannungs-Geschwindigkeitsformulierung auf einem geschachtelten Gitter. Gerichtete Kraftquellen werden eingebracht, indem aus dem Impulsübertrag eine Geschwindigkeitsänderung bestimmt wird, die beim Update der Geschwindigkeit am Quellpunkt addiert wird. Dazu muss die Kraft auf ein endliches Volumen mit endlicher Masse bezogen werden. Für Quellen im Inneren des Mediums muss die Kraft auf eine komplette Gitterzelle wirken, damit die Amplituden korrekt modelliert werden. Befindet sich die gerichtete Kraftquelle jedoch direkt an der freien Oberfläche und ist die freie Oberfläche über die Spiegelungstechnik implementiert, so muss die Kraft nur auf die halbe Gitterzelle wirken. Wir veranschaulichen dies anhand eines Vergleichs von verschiedenen FD-Schemata für eine gerichtete Kraftquelle an der Oberfläche eines homogenen Halbraums. Die freie Oberfläche ist einmal über die Spiegelungstechnik realisiert und einmal durch eine Vakuumschicht am oberen Modellrand. Das Anfangswertproblem, bei dem das Geschwindigkeitsfeld zu Beginn der Modellierung definiert wird, wird von beiden Implementierungen identisch und korrekt gelöst. Bei der Beschreibung des Problems durch eine an der Oberfläche wirkende Kraft, kann bei einer Implementierung der freien Oberfläche über eine Vakuumschicht im Gegensatz zur Spiegelungstechnik die gleiche Skalierung verwendet werden wie für Quellen innerhalb des Halbraums. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der von uns verwendeten Implementierung der freien Oberfläche über eine Vakuumschicht die Dichtewerte an den vollen Gitterpunkten arithmetisch gemittelt werden, um Dichtewerte an den Zwischengitterpunkten des geschachtelten Gitters zu erhalten.

#### **Literatur:**

Levander, A. R., 1988. Fourth-order finite-difference P-SV seismograms, *Geophysics*, 53(11), 1425-1436.

## Modellierung und Imaging MI-P.003

### *Genauigkeit der Finiten Differenzen Simulation von reflektierten seismischen Wellen*

**Pontius, M.<sup>\*</sup>, Bohlen, T., Veile, I.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Die Finite Differenzen (FD) Methode hat eine zentrale Bedeutung für die numerische Vorwärtsmodellierung von seismischen Wellenfeldern und somit auch für Inversionsverfahren, die das vollständige Wellenfeld nutzen. Daher ist es wichtig, die Grenzen dieser Methode und mögliche Probleme, die beispielsweise in Zusammenhang mit der notwendigen Diskretisierung des zu untersuchenden Modelles zustande kommen, quantitativ zu verstehen. In dieser Posterpräsentation wird eine Genauigkeitsanalyse der FD-Methode hinsichtlich reflektierter elastischer Wellen vorgestellt. Dabei ist vor allem der sogenannte "Staircase-Effect" maßgeblich verantwortlich für die Modellierungsfehler. Dieser Effekt beschreibt das Auftreten von Beugungen an einer Grenzschicht, welche aufgrund der Diskretisierung des Modelles bei geneigten Schichten stufenförmig ist. Für die Untersuchung wurden ein ebener und ein geneigter Zweischichtenfall bei verschiedenen Gitterabständen simuliert. Das Modell weist nur einen schwachen Impedanzkontrast auf. Bei einer Diskretisierung von 12 Gitterpunkten pro minimaler Wellenlänge treten bereits deutliche Fehler der simulierten Reflexionsamplituden bei vertikalem Einfall auf, die bei gröberer Diskretisierung weiter zunehmen.

## Modellierung und Imaging MI-P.004

### *Genauigkeitsanalyse seismischer und elektromagnetischer Finite-Differenzen-Simulationsrechnungen im Fall von dünnen Klüften*

**Linke, M.\*, Hellwig, O., Buske, S.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

In der Kohlenwasserstoffexploration aber auch in der geothermischen Reservoircharakterisierung liegt ein besonderes Augenmerk auf der Untersuchung von Störzonen. Bei diesen handelt es sich um Riss- oder Kluftsysteme, welche z.B. mittels hochfrequenter seismischer bzw. elektromagnetischer Wellen erkundet werden. Ziel ist es, Aussagen über die Klüftigkeit, die Kluftfüllung und die räumliche Verteilung der Klüfte zu treffen. Als Interpretationshilfe für gewonnene Daten können computergestützte Simulationen der Wellenausbreitung dienen.

Bei der Simulation der seismischen und elektromagnetischen Wellenausbreitung mit Finiten Differenzen stellt sich die Frage nach einer ausreichenden Approximation der unter Umständen im Verhältnis zur Wellenlänge sehr dünnen Klüfte bei gleichzeitiger Begrenzung des nötigen Rechenaufwandes. Dazu untersuchen wir die Auswirkungen der Diskretisierung in 2D-Finite-Differenzen-Simulationen im Zeitbereich auf die Wellenform von reflektierten und transmittierten Signalen und vergleichen die Ergebnisse mit analytischen Referenzlösungen. Die dünne Lamelle wird dabei als einfaches Liniensegment modelliert, das unter verschiedenen Winkeln im Simulationsgebiet platziert wird. Die Referenzlösungen werden im Frequenzbereich berechnet und unter Verwendung eines bandbegrenzten Quellsignals in den Zeitbereich überführt.

Erste Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass eine achsenparallele Lamelle mit einer Breite von einer Gitterzelle im FD-Modell ausreicht, um eine gute Approximation an die wahre reflektierte bzw. transmittierte Wellenform zu erhalten. Dies ist ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf die benötigte Rechenzeit, da eine feinere Diskretisierung der Lamelle immer mit einem höheren Rechenaufwand verbunden ist.

Liegt die Lamelle nicht achsenparallel im Gitter, kommt es bei der verwendeten FD-Methode zu einem Treppmuster, welches die Signalform bzw. dessen Amplitude verändert. Bei einer dünnen Lamelle, die um 45° gegenüber den Achsen des FD-Gitters geneigt ist, ergibt sich eine deutliche Abweichung der Maximalamplitude des reflektierten FD-Signals gegenüber der analytischen Lösung von bis zu 30%. Dies wird vor allem in Modellen mit mehreren Klüften bzw. Rissen bedeutsam.

## Modellierung und Imaging MI-P.005

### *The electrical conductivity of Posidonia black shales - from rock samples to magnetotelluric exploration*

**Santos Ferreira Adão, F.J.\*<sup>1,2</sup>, Ritter, O.<sup>1,2</sup>, Spangenberg, E.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz Centre Potsdam - GFZ German Research Centre for Geosciences, 2.2, Potsdam, Deutschland,

<sup>2</sup>Freie Universität Berlin, Geophysik, Berlin, Deutschland

We carried out a magnetotelluric (MT) field campaign in the SE Lower Saxony Basin, Germany, to test this method for exploration of the regional Posidonia black shale sediments in its various states of thermal maturity. Eighty-three MT stations were set up along a sixty-three kilometre long profile. Dimensionality and directionality analysis point to an East-West direction in accordance with the regional geology and major faults. 2D inversion results of the MT data show a series of conductive structures correlating with shallow brine saturated sediments but also with deeper meta-anthracitic coals. None of the mentioned structures could be directly correlated with the Posidonia black shale, which appears to be generally resistive and therefore difficult to resolve with MT. The measurements of electrical resistivity, which we made on a set of Posidonia shale samples from the Hils syncline in the Lower Saxony basin, support this finding. The rock samples were collected from three shallow boreholes: Wickensen, Harderode and Haddessen. They show immature (0.53 % Ro), oil (0.88 % Ro) and gas (1.45 % Ro) window thermal maturities, respectively. No direct correlation between maturities and electrical resistivity was observed. Furthermore, the Posidonia shale seems to be anisotropic as measurements across rock bedding rendered higher electrical resistivity than those parallel to the bedding. Saturating the samples with distilled and saline water solutions led to a decrease of electrical resistivity in all samples, even in the case of distilled water. We explain this

observation with electrolytic conduction through the pore fluid. Positive correlation between porosity and electrical resistivity was observed for samples of the Wickensen and Harderode wells but not for the Haddessen samples. The Haddessen samples show, however, a correlation with total organic content which may hint towards a more important role of electronic conduction for the Haddessen samples.

**Keywords:** Magnetotelluric, Posidonia Shale, Electrical Resistivity, Thermal Maturity, Porosity, Total Organic Content.

## Modellierung und Imaging MI-P.006

*Field measurement of magnetic resonance tomography using elongated transmitter and in-loop receiver arrays (MRTetra)*

**Jiang, C.<sup>1</sup>, Müller-Petke, M.<sup>2</sup>, Dlugosch, R.<sup>2</sup>, Jun, L.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Jilin University, Jilin, China, Volksrepublik, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, S5 Gesteinsphysik und Bohrlochgeophysik, Hannover, Deutschland

The increasing usage of Magnetic Resonance Tomography (MRT) for 2D groundwater detection based on multi-offset coincident or separated loop measurement has shown high resolution to shallow aquifers but is quite time-consuming.

A new configuration using "elongated transmitter loops with in-loop receiver arrays (ETRA)" has been presented (Jiang et al. 2013) recently. This configuration utilizes a large rectangle transmitter loops and measures the NMR signal in several smaller receiver loops, simultaneously. This setup allows for conducting a two-dimensional investigation in a fraction of time usually needed. Those promising results were derived by comparing resolution properties and analyzing synthetic experiments.

We present the first field measurements at Eddelstorf, Germany. The site consists of a buried glacial valley covered by a till layered and embedded in a medium sand layer. The field survey consists of measurements applying the new ETRA configuration and the standard separated loop setup. We show that the synthetic results could be verified and therefore expect ETRA to become widely accepted.

References:

Jiang, C., Müller-Petke, M. and Lin, J., 2013, Resolution studies for 2D Magnetic Resonance Tomography (MRT) using Array Loop Configuration, 26th Annual Symposium on the Application of Geophysics for Engineering and Environmental Problems, Denver, Colorado, USA.

## Modellierung und Imaging MI-P.007

### *Integrated stratigraphic and petroleum system modelling of Russian Arctic shelves*

**Vasilev, V.\*, Verzhbitsky, V., Ananov, V., Komissarov, D., Murzin, R., Rasskazova, S., Filippovich, Y.**  
Gazpromneft Science and Technology Centre, Saint-Petersburg, Russische Föderation

Following the strategic targets of JSC «Gazprom Neft» the geoscientists of "Gazpromneft NTC" ("Gazpromneft Science and Technology Centre") are focused on the study of present-day geological structure and restoration of the geological history of the Russian Arctic regions in order to determine their oil and gas potential. This kind of work is subject to large regions, containing sedimentary basins, which differ in their nature and age. The final result of such study becomes the base for license blocks selection.

First regional projects using basin modeling were carried out by "Gazpromneft NTC" in 2009 for the Black Sea shelf and Cis-Patom basin in Eastern Siberia. We use 2D modeling to analyze the hydrocarbon systems, to highlight the critical factors influencing their formation and evolution, to restore age and scale of generation, to determine the most favorable migration patterns and to predict the main zones of hydrocarbon accumulation.

Works on a regional study of the Caspian Sea and the Kara Sea were completed in 2011. 3D Basin modeling allowed us to estimate oil and gas potential of regions not only qualitatively but also quantitatively. The model of hydrocarbon systems for the South and the North Kara basins were constructed using a forward stratigraphic modeling, on a new level of detail. Our results indicate that in the South Kara basin there are opportunities for the discovery of giant fields. At the same time (based on the re-interpretation of seismic stratigraphy of the region) we came to conclusion that the North Kara basin (traditionally considered as oil-bearing) could be mostly gassy due to a high maturity of the Lower Paleozoic source rocks. Our next regional project completed in 2012 was focused on assessment of the petroleum potential of the Pechora Sea using stratigraphic and basin modeling. According the 3D basin modelling, we can expect opening new giant hydrocarbon accumulations in the basin, and main resources should be oil and dissolved gas.

At present, we are working on a similar study on the East Siberian Sea, based on both marine seismic and onshore geological data, including our field work observations. The results of regional studies, performing in "Gazpromneft NTC" are used to determine the long-term strategic interests of the Company.

## SE Seismik

### Seismik SE-1.001

*Seismic data interpolation, regularization and pre-stack enhancement, using the partial i-CRS stack*

**Koushesh, M.\*, Schwarz, B., Gajewski, D.**

Institute of Geophysics, University of Hamburg, Hamburg, Deutschland

There are plenty of reasons in seismic exploration that may give rise to missing traces or loss of signals because of noise. Villages, platforms, lack of permission for exploration, damaged receivers and sources of noise during seismic acquisition are among main problems which require us to perform trace interpolation, data regularization and/or to enhance the signal to noise ratio. In this work we consider seismic data interpolation, regularization and pre-stack enhancement by improving the signal to noise (S/N) ratio using the CRS and i-CRS attributes. Based on the hyperbolic CRS (Common Reflection Surface) operator a new powerful method, the partial CRS stack, was introduced. Partial stacks improve the quality of prestack data by incorporating information obtained not only from neighboring traces in the offset domain, but also from neighboring CMPs. In this study we introduce the partial i-CRS stack, which is based on a double square root operator particularly suited for events from strongly curved objects. For easy implementation of the i-CRS operator, we made use of its so called shifted version. We evaluate the potential of both methods, the partial CRS stack and the partial i-CRS stack, in filling data gaps and to enhance the signal to noise ratio. We considered simple and complex synthetic data sets. The simple model includes a single curved reflector and one diffractor. The complex synthetic model is the Sigsbee 2A model. Both methods provided similar results in recovering lost reflection signals by improving the S/N ratio in pre-stack data. However, in the case of diffractions, the partial i-CRS stack proved its potential for highly curved objects and gives higher S/N ratios even at large offsets, compared to the partial CRS stacking operator. The partial stack technology therefor allows to improve the quality of pre-stack data and to fill data gaps. Because of this and the ability to regularize the data volume it also represents an essential pre-processing tool for wave equation based methods.

### Seismik SE-1.002

*Application of 3D CRS imaging in a crystalline environment*

**Ashfaq Ahmed, K.\*, Gajewski, D., Schwarz, B.**

University of Hamburg, Department of Geophysics, Hamburg, Deutschland

Seismic imaging is a challenging task when data is acquired in a hardrock environment. Typically high velocities, low impedance contrasts, and the presence of fractures mostly lead to a complex and scattered wavefield with a low signal-to-noise ratio. In this work we present the results of the application of a 3D CRS workflow to a hardrock environment 3D seismic dataset recorded near Schneeberg in Saxony/Germany. In contrast to conventional workflows, CRS takes many neighboring CMPs into account, which leads to a significant increase of the signal-to-noise ratio. The CRS stacking surface is determined by carrying out a coherence-based multi-parameter optimization and is thus a purely data-driven process, which does not rely on any knowledge of a macro-velocity model. While the conventional CMP stack provided noisy incoherent images, the CRS approach led to cleaner results, which contain more structural information. In addition to the improved stack, the CRS workflow also provides a coherency cube, which shows more detail and gives direct evidence to present geological structures in the acquisition area. We argue that especially in geologically complex areas like the crystalline environment, coherence, being a by-product of the CRS workflow, can lead to better images than the actual stack.

## Seismik SE-1.003

### *Auxiliary media - a generalized view on stacking*

**Schwarz, B.\***, Vanelle, C., Gajewski, D.

Institut für Geophysik, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

Stacking still plays a fundamental role in seismic data processing. While the summation itself helps to decrease data redundancy and leads to a first interpretable time image with a high signal-to-noise ratio, the estimated stacking parameters form the foundation of many important subsequent processing steps, including depth imaging. Current multi-parameter stacking techniques aim to include higher order terms in the traveltimes moveout surface. Without increasing the number of parameters, this goal is commonly achieved by assuming a certain reflector geometry and straight raypaths. In the presence of heterogeneity, as a consequence, moveout is described in an auxiliary medium. Although modern methods are usually based on the same set of parameters, we show that they can be divided into two types of approximations, one assuming an effective medium, the other describing the optical analogue in a medium of constant near-surface velocity. Based on ideas of de Bazelaire and Höcht et al., we present optical representations of effective medium operators currently in use. In addition, we clarify the unique role of the multifocusing method, theoretically and with synthetic examples, and point out distinct advantages of both approaches.

## Seismik SE-2.001

### *Time-lapse seismic monitoring of the CO<sub>2</sub> injection at Ketzin, Germany*

**Gil, M.\*<sup>1</sup>**, Götz, J.<sup>1</sup>, Ivanova, A.<sup>1</sup>, Lüth, S.<sup>1</sup>, Juhlin, C.<sup>2</sup>, Krawczyk, C.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Uppsala University, Uppsala, Schweden,

<sup>3</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

The Ketzin test site, Germany, is Europe's longest operating on-shore CO<sub>2</sub> storage site. Between 06/2008 and 08/2013 about 70 kt of CO<sub>2</sub> were injected in an anticlinal structure. The target reservoir is a sandstone saline aquifer at ~630 - 650 m depth. To enhance the understanding of the structural geometry of the site and to investigate the extension of the CO<sub>2</sub> plume, several geophysical monitoring methods are applied at the Ketzin site, among which are seismics, geoelectrics and borehole measurements.

Here, we focus on seismic methods, both surface as well as zero-offset VSP. Prior to injection the baseline surveys of 3D seismic and zero-offset VSP were measured in 2005 and 2007, respectively. The 1st repeat measurements of 3D surface seismics were performed in 2009 after injection of about 22 kt of CO<sub>2</sub>, followed by the repeat of zero-offset VSP in 2011 after 46 kt of CO<sub>2</sub> injection. The 2nd repeat of 3D surface seismic was measured in 2012 after about 61 kt of CO<sub>2</sub> were stored in the target formation.

Interpretation of these measurements allowed the characterization of the CO<sub>2</sub> plume's geometry and westward propagation direction. The amplitude variation is situated at the top of the reservoir near the injection well with a lateral extent of ~300-400 m after 1st repeat and ~400-600 m after 2nd repeat survey and a thickness of about 5-20 m. The amplitude anomaly matches the expected distribution of the CO<sub>2</sub> plume derived from reservoir simulations, considering detection limits of seismic surface measurements.

To increase the resolution and reliability of the data, to improve the estimation of rock properties, and especially to enhance the imaging resolution of the CO<sub>2</sub> plume, the time-lapse 3D seismic and zero-offset VSP data have been inverted for acoustic impedances. The applied inversion algorithms were Model Based Inversion and Band Limited Impedance Inversion for the 3D surface seismic and zero-offset VSP, respectively. The surface data and obtained impedances are compared with time-lapse VSP measurements and results of their inversion. The zero-offset VSP is inserted into an inline of 3D surface seismic crossing the receiver well, what makes a direct comparison of time-lapse amplitude difference and impedances possible.

The comparison shows good agreement between these datasets regarding the impedances values. The high-resolution zero-offset VSP data complement the lateral image of the CO<sub>2</sub> plume derived from 3D surface seismic in the vicinity of the well.

## Seismik SE-2.002

### *Bestimmung eines Poissonzahlen-Modells aus reflexionsseismischen Messungen am CO2CRC Otway Project Pilot Site, Australien*

**Beilecke, T.<sup>\*</sup>, Krawczyk, C.M., Tanner, D.C., Ziesch, J.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), S1, Hannover, Deutschland

Reflexionsseismische Feldmessungen mit Kompressionswellen (P Wellen) sind ein Standardverfahren für die Exploration. Seismische 2-D Messungen finden zum einem als Übersichtsmessungen Anwendung, zum anderen aber auch als oberflächennahe Ergänzung, um existierende Lücken in seismischen 3-D Datensätzen zu schließen. Solche 2-D Messungen sind in Bezug auf das Layout oft recht einfach und bieten sich somit auch für Messungen mit Scherwellen (S Wellen) an.

In den letzten Jahren sind S Wellenuntersuchungen immer stärker in den Fokus der Forschung gerückt. Ein Grund dafür ist, dass P und S Wellen unterschiedlich sensitiv auf Fluide und Porenfüllungen reagieren, so dass zusätzliche S Welleninformationen für verbesserte lithologische Studien verwendet werden können. Zudem haben S Wellen den Vorteil der höheren Strukturauflösung: Bei gleicher Signalbandbreite zeigen sie im Vergleich zu P Wellen typischerweise die halbe Wellenlänge. Im oberflächennahen Bereich können sie die Auflösung manchmal sogar um eine Größenordnung verbessern.

Wir nutzen diese Möglichkeiten innerhalb des PROTECT Projektes. Zusätzlich zu existierenden 2-D P Wellendaten haben wir im November 2013 oberflächennahe 2-D Scherwellenmessungen am CO2CRC Otway Project Pilot Site in der Nähe von Warrnambool, Australien, durchgeführt. Aus der kombinierten Analyse von P und S Wellendaten konnten wir ein 2-D Modell der Poissonzahlen bis ca. 600 m Tiefe bestimmen. Die Poissonzahlen entlang eines 1 km langen Profils am Pilotstandort sind überraschend hoch. Sie bewegen sich zwischen 0.47 im oberflächennahen, karbonatdominierten Bereich und 0.4 im tieferen Bereich. In der Literatur finden sich Durchschnittswerte von 0.22 für ungestörte Karbonate und 0.37 für gestörte Proben. Die hohen Werte, die wir gefunden haben, können auf unkonsolidierte oder gestörte Bereiche im Untergrund oder auf erhöhte Fluidgehalte hindeuten. Die Ursachen dafür sollen noch näher untersucht werden. Diese Arbeiten sind Bestandteil eines größeren Workflows zur Vorhersage von Wegsamkeiten bei der unterirdischen Speicherung von CO<sub>2</sub>.

Danksagung: This work was sponsored in part by the Australian Commonwealth Government through the Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Technologies (CO2CRC). PROTECT is funded through the Geotechnologies research programme in Germany (grant 03G0797).

## Seismik SE-2.003

### *Seismische Messungen über einem Salzstock in Schleswig-Holstein: Rückschlüsse für geothermische Nutzungen*

**Mecking, R.<sup>\*1</sup>, Bunes, H.<sup>2</sup>, Rabbel, W.<sup>1</sup>, Thorwart, M.<sup>1</sup>, Kirsch, R.<sup>3</sup>, Hese, F.<sup>3</sup>, Krawczyk, C.M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Angewandte Geophysik, Kiel, Deutschland, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland, <sup>3</sup>Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), Flintbek, Deutschland

Im Rahmen des INTERREG IVa-Projekts Geopower werden die Planungsgrundlagen für die Tiefengeothermie in Süddänemark und dem nördlichen Schleswig-Holstein grenzüberschreitend untersucht. Federführend sind der Geologische Dienst im Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR) und der Geologische Dienst von Dänemark und Grönland (GEUS). Ziel des Projektes ist die Charakterisierung potentieller geothermischer Nutzhorizonte (Tiefenlage, Mächtigkeit, petrophysikalische Eigenschaften, Temperaturfeld).

Datengrundlage sind vorhandene Bohrungen und seismische Messungen der Kohlenwasserstoffexploration. Um die Datenbasis zu verbessern, wurden im November 2012 reflexionsseismische Messungen im nördlichen Teil des Glückstadtgrabens über der Salzstruktur Maasbüll südöstlich von Flensburg vom Institut für Geowissenschaften der Universität Kiel, dem Geologischen Dienst Schleswig-Holstein und dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) durchgeführt. Die Messungen umfassten ein 2,5km langes Längsprofil mit 480 Kanälen und 3 Querprofile mit insgesamt 190 Einzelstationen. Als Quellen wurden ein Vibrator des LIAG sowie 10 Sprengungen (je 1 kg Sprengstoff) verwendet.



Sowohl für die Sprengseismik als auch für die Vibroseismik wurde eine 2D-Auswertung des Längsprofils und eine 3D-Auswertung der Querprofile vorgenommen. Die Eindringtiefe beträgt für beide Quellarten etwa 1.5 km. Die 2D-Auswertung zeigt ein hochaufgelöstes Strukturbild: Die Oberkante der Salzstruktur bei etwa 800 m und die darüber befindlichen Störungen in der Kreide und im Tertiär sind deutlich zu identifizieren. Damit liegt der Top des Salzstocks 800-1000 m flacher, als auf Grund früherer Untersuchungen erwartet und publiziert wurde. Seitlich des Salzstockes erkennt man auskeilende Schichten des Keuper, Râth und Lias. In der 3D-Auswertung der Querprofile konnten die Horizonte in Nord-Süd-Richtung verfolgt werden; die Salzstruktur steigt nach Norden hin an. Eine Kombination der Datensätze des hoch überdeckten 2D-Profils und der Querprofile verbesserte die 3D Abbildung der Horizonte.

## Seismik SE-2.004

### *Improved subsalt imaging using Common Scatter Point gathers*

**Yang, Y.\***, **Vanelle, C.**, **Gajewski, D.**

University of Hamburg, Department of Geophysics, Hamburg, Deutschland

Subsalt imaging is a challenge in seismic data processing. The data quality below salt is usually fairly low owing to the strong impedance contrast at the salt boundary. Pre-stack time migration (PSTM) is a classical tool for subsurface imaging because it is fast, robust and less sensitive to velocity model errors. It would be nice to have a process which combines enhancement of pre-stack data quality and time migration. Common Scatter Point (CSP) gathers generating from input common midpoint (CMP) gathers provide such an option. It is formed by Double Square Root (DSR) equation that parametrized with the common offset (CO) apex time, and maps the summed amplitude directly into the corresponding CO apex of the migration operator. A multi-parameter stack is then applied to the CSP gathers, which gives the final time imaging section. To demonstrate the CSP imaging method, we applied it to the synthetic Sigsbee2a model which contains a huge salt body. In comparison to the conventional PSTM, the results of CSP processing provide improved images showing more continuous reflections, faults, and much clearer top and flanks of the salt body. Moreover, it contains much more information of the bottom of the salt body and the subsalt area than that of conventional PSTM. Finally, we performed velocity analysis to the CSP gathers as well as to the CMP gathers using conventional semblances technique. The increased signal-to-noise ratio and the absence of diffractions in the CSP gathers lead to a better focused velocity spectrum and, therefore, better time-migration velocities.

## Seismik SE-3.001

### *Seismische Abbilder der San Andreas Störung in der nördlichen Salton-Senke (Südkalifornien)*

**Bauer, K.\*<sup>1</sup>**, **Ryberg, T.<sup>1</sup>**, **Fuis, G.S.<sup>2</sup>**, **Goldman, M.R.<sup>2</sup>**, **Catchings, R.D.<sup>2</sup>**, **Rymer, M.J.<sup>2</sup>**, **Hole, J.A.<sup>3</sup>**, **Stock, J.M.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>GFZ Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>USGS, Menlo Park, USA, <sup>3</sup>Virginia Tech, Blacksburg, USA,

<sup>4</sup>Caltech, Pasadena, USA

Die hier untersuchte Salton-Senke ist ein Pull-apart Becken im Bereich der San Andreas Störung (SAF) in Südkalifornien. Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Übergangsbereich zwischen der durch Strike-Slip Tektonik geprägten Kruste entlang der SAF im Norden und jungem Rifting am Golf von Kalifornien im Süden. Die SAF ist in Südkalifornien durch einen bogenförmigen Verlauf sowie teilweise Segmentation und Ausbildung von Step-overs gekennzeichnet. Infolge dessen entstand die Salton-Senke. Diese weist besondere topographische Merkmale auf und ist durch anomale Krustenausdünnung, Absenkung und mächtige Sedimentablagerungen charakterisiert.

Das Salton Seismic Imaging Project (SSIP) wurde initiiert, um mit Hilfe neuer seismischer Experimente insbesondere Informationen zur Struktur des Sedimentbeckens sowie zum detaillierten Verlauf der SAF und damit assoziierter Störungssysteme zu gewinnen. Die Resultate sollen in neue Modellrechnungen zur Vorhersage potentieller Auswirkungen durch grosse Erdbeben einfließen. Darüber hinaus können die Ergebnisse aus dem SSIP Projekt zum verbesserten Verständnis der geodynamischen Prozesse an der SAF beitragen.

Bei den umfangreichen Feldexperimenten wurde eine grössere Anzahl von 2D Profilen sowohl land-seismisch in der nördlichen und südlichen Salton-Senke als auch mit mariner Seismik in der Salton-See akquiriert. In unseren Untersuchungen konzentrieren wir uns auf mehrere 2D Profile in der nördlichen Salton-Senke. Bereits sehenswerte Ergebnisse konnten entlang der Profile 4 und 6 abgeleitet werden. Bei der Datenauswertung wurden (1) eine neu entwickelte Pre-stack Tiefenmigrationsmethodik mit besonderem Fokus auf steil-stehende Störungen sowie (2) Wellenform-Inversionsverfahren verwendet. Als wichtigstes Ergebnis konnten insbesondere entlang von Profil 4 und teilweise auch auf Profil 6 steil-stehende Störungen im Bereich der SAF abgebildet werden. Diese lassen sich direkt am Oberflächen-Aufschluss belegen, wie beispielsweise am Painted Fault Canyon. Demnach ist die SAF durch ein komplexes System von Störungszweigen in Form von Blumen-Strukturen gekennzeichnet. Auf Profil 4 weist die SAF eine moderate ostwärtige Neigung von 55-60 Grad auf. Damit unterstützen unsere Resultate punktuell das kürzlich postulierte Modell einer Propeller-förmigen SAF in Südkalifornien.

## Seismik SE-3.002

### *Charakterisierung einer Störungszone mittels P- und S-Wellenseismik*

**Wawerzinek, B.<sup>\*1</sup>, Buness, H.<sup>1</sup>, Musmann, P.<sup>2</sup>, Polom, U.<sup>1</sup>, Thomas, R.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>jetzt: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Neben Heißwasser-Aquiferen und Kristallingesteinen weisen tiefreichende Störungssysteme ein großes tiefengeothermisches Potenzial auf. Die tatsächliche Nutzbarkeit der Störungssysteme ist von vielen komplexen lithologischen und tektonischen Faktoren abhängig. Im Rahmen des gebo-Forschungsverbundes, in dem Forschungseinrichtungen, Universitäten und Industrie zusammenarbeiten, wird in einem Teilprojekt speziell der Einsatz seismischer P- und S-Wellen zur Analyse und Charakterisierung von Störungszonen geprüft.

Die Untersuchungen erfolgen exemplarisch an einem Störungssystem im Leinetalgraben, welches die geologischen Einheiten des Jura und der Trias durchschneidet. Reflexionsseismische P- und S-Wellenmessungen erfolgten senkrecht und parallel zur Grabenachse, um den strukturellen Aufbau, unterschiedliches Reflexionsverhalten sowie mögliche Anisotropieeffekte zu analysieren. Die P-Wellenmessungen zeigen nicht nur senkrecht, sondern auch parallel zur Grabenachse einen stark differenzierten strukturellen Aufbau, der durch mehrere tektonische Phasen entstanden ist und sowohl steil als auch flach einfallende Störungen umfasst. Eine der flach nach Westen einfallenden Störungen bildet einen markanten P-Wellenreflektor aus, der von der Oberfläche bis in etwa 500 m Tiefe korrelierbar ist. Auch parallel zur Grabenachse kann der Verlauf dieses Reflektors weiter verfolgt werden. Die S-Wellen weisen im Gegensatz dazu ein deutlich unterschiedliches Reflexionsverhalten auf: Weder senkrecht noch parallel zur Grabenachse finden sich in den S-Wellenmessungen Hinweise auf den in der P-Wellenseismik sichtbaren Reflektor. Es bilden sich in diesem Tiefenbereich diffuse Reflexionen aus. Im oberflächennahen Bereich zeigt sich das höhere Auflösungsvermögen der S-Wellenseismik und bildet nach Süden hin eine Mächtigkeitsabnahme der jurassischen Einheiten ab.

Weiterhin wird eine petrophysikalische Analyse mit Hilfe seismischer FD-modellierter Daten durchgeführt, um die Ursache (lithologisch, strukturell, Kombination beider) des unterschiedlichen Reflexionsverhaltens der P- und S-Wellen zu bestimmen, die Störungszone zu charakterisieren sowie den Einfluss unterschiedlicher Eigenschaften der Störungszone auf das seismische Wellenfeld zu ermitteln.

Der Forschungsverbund Geothermie und Hochleistungsbohrtechnik (gebo) wird gefördert durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und Baker Hughes, Celle.

### Seismik SE-3.003

#### *Investigation of crystal anisotropy using seismic data from Kohnen Station, Antarctica*

**Diez, A.<sup>\*1</sup>, Eisen, O.<sup>1</sup>, Weikusat, I.<sup>1</sup>, Lambrecht, A.<sup>2</sup>, Mayer, C.<sup>2</sup>, Hofstede, C.<sup>1</sup>, Bohlen, T.<sup>3</sup>, Miller, H.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven, Deutschland, <sup>2</sup>Bayrische Akademie der Wissenschaften, Kommission für Erdmessung und Glaziologie, München, Deutschland, <sup>3</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

The flow behavior of glaciers and ice sheet is influenced by a preferred orientation of the anisotropic ice crystals. Knowledge about crystal anisotropy is mainly provided by crystal orientation fabric (COF) data from ice cores. To gain a broader understanding about the distribution of crystal anisotropy in ice sheets and glaciers we use seismic measurements. Two effects are important: (i) sudden changes in crystal orientation fabric (COF) lead to englacial reflections and (ii) the anisotropic fabric induces an angle dependency on the seismic velocities and thus also recorded traveltimes. For comparisons of ice core data and seismic results we connect COF data with the elasticity tensor and, thus, determine seismic velocities and reflection coefficients for cone and girdle fabrics from ice-core data.

In the Antarctic field season 2012 we carried out a vertical seismic profiling (VSP) survey within the borehole of the EDML ice core and a seismic wideangle survey close to Kohnen Station, Antarctica. From the VSP survey we derive interval velocities and compare these velocities to the theoretically calculated velocities from COF ice-core data. The overall velocity trend derived from the ice-core data is well reflected in the VSP velocities. It shows, that the choice of the monocrystal elasticity tensor for the calculation of velocities from ice-core data is important for a good fit with the VSP velocities. For comparison of seismic data with radar and ice-core data we use stacked traces of the wideangle survey. Thus, we are able to identify COF induced reflections in both the seismic and radar data sets.

### Seismik SE-3.004

#### *Interpolation von Ultraschalldaten durch seismische Interferometrie*

**Niederleithinger, E.\*, Müller, S.**

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, FB 8.2, Berlin, Deutschland

Ultraschall-Echo-Messungen, die physikalisch/mathematisch eng mit der Reflexionsseismik verwandt sind, werden unter anderem zur Untersuchung von Betonkonstruktionen eingesetzt. Kommerziell wurden bisher fast nur monostatische Anordnungen (fester Sender-Empfänger-Abstand) verwendet. Neue Geräte für Forschung und Praxis ermöglichen inzwischen auch multistatische Anordnungen und damit den Einsatz moderner Abbildungs- und Migrationsmethoden aus der Ultraschalltechnik und der Geophysik. Die physikalischen Abmessungen der Ultraschallköpfe verhindern aber die Messung mit geringen Abständen. Oft kann erst ab einem Offset von mehr als zwei Wellenlängen (hier 3-4 cm) gemessen werden. Unter Umständen verringert dies die Abbildungs- und Aussagequalität.

Seismische Interferometrie ermöglicht unter anderem die Rekonstruktion von Green'schen Funktionen (Impulsantworten) zwischen Positionen, an denen Empfänger, aber keine Quellen positioniert waren. Dies geschieht vereinfacht gesagt durch Kreuzkorrelation zwischen an beiden Positionen aufgenommenen Signalen von anderen, möglichst zahlreichen und weit verteilten Quellen. Wie in der marinen Seismik lässt sich diese Methodik zur Interpolation fehlender Messspuren oder sogar ganzer Schusspunkte einsetzen. Zudem lässt sich das Quellsignal rekonstruieren. Dies wird anhand synthetischer Daten und an einem im Labor an einem Polyamid-Probekörper aufgenommenen Datensatz demonstriert. Die Daten wurden mit breitbandigen SH-Wellenprüfköpfen mit einer Mittenfrequenz von ca. 50 kHz generiert. Es zeigt sich, dass die Einsätze (direkte Welle, Reflexionen und Diffraktionen) kinematisch korrekt, aber mit durch die Kreuzkorrelation veränderter Phase rekonstruiert werden können. Das Quellsignal lässt sich akkurat bestimmen.

## Seismik SE-4.001

### *Seismic site characterization in and around the COSC-1 drillhole*

**Simon, H.<sup>1</sup>, Buske, S.<sup>1</sup>, Giese, R.<sup>2</sup>, Juhlin, C.<sup>3</sup>, Schmelzbach, C.<sup>4</sup>, Maurer, H.<sup>4</sup>, Robertsson, J.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geophysics and Geoinformatics, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>2</sup>Scientific Drilling, Helmholtz Centre Potsdam - GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Dept. of Earth Sciences, Uppsala University, Uppsala, Schweden, <sup>4</sup>Institute of Geophysics, ETH, Zurich, Schweiz

The project COSC (Collisional Orogeny in the Scandinavian Caledonides) focuses on the mid Paleozoic Caledonide Orogen. The Scandinavian Caledonides provide a well preserved example of plate collision, where surface geology and geophysical data provide control of the geometry of the Caledonian structure, both of the allochthon and the autochthon, including a shallow W-dipping décollement surface on a thin skin of Cambrian black shales. The structure of the basement is highly reflective and apparently dominated by mafic sheets. The COSC project will examine the structure and physical conditions of these units, with two approx. 2.5 km deep drillholes, in Jämtland/Sweden.

Existing regional seismic and magnetotelluric data have imaged the geometry of the upper crust, and pre-site seismic reflection surveys were performed to better define the exact drill site locations. The project presented here is dedicated to complement these surface seismic measurements by drillhole-based investigations to better resolve and define the small-scale structures around the drillhole COSC-1. This will be achieved by a combination of seismic transmission and reflection experiments.

Therefore three profile lines have been defined, each approx. 10 km long and radially centered around the drill site. Along these lines 3C receivers and source points will be distributed for multiazimuthal walkaway VSP measurements. Furthermore a 3C geophone chain will be installed in the borehole and operated such that an almost complete depth profile for each source point will be obtained. The second part of the planned survey will be a zero-offset VSP along the entire borehole length. The survey will take place in late summer or autumn 2014 after COSC-1 is drilled.

In preparation for the survey and the following data processing we have performed finite-difference elastic wavefield modelling to investigate the effects of the survey geometry, such as the receiver ghost on borehole recordings and the influence of the significant topography. With the synthetic data sets we are currently testing various methods for the processing of the drillhole-based data (e.g. wavefield separation).

The data processing will employ advanced imaging techniques and will focus on, amongst other things, the analysis of anisotropic effects caused by aligned fractures and faults. The results of our investigations will be high-resolution images of the fine-scale structure of faults and fractures around the borehole.

## Seismik SE-4.002

### *Fokussierende 3D prestack-Tiefenmigrationsverfahren zur Abbildung steil stehender Strukturen im Kristallin des West-Erzgebirges bei Schneeberg*

**Hlousek, F.\*, Hellwig, O., Buske, S.**

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Steil einfallende geologische Strukturen stellen hohe Anforderungen an seismische Abbildungsmethoden. Prestack-Kirchhoff-Migrationsverfahren und insbesondere die fokussierenden Varianten sind konventionellen Poststack-Verfahren dabei weit überlegen und liefern deutlich bessere Abbildungsergebnisse solcher Strukturen.

Bei den fokussierenden Migrationsverfahren handelt es sich zum einen um die Fresnel-Volumen-Migration, zum anderen um die Kohärenz-Migration. Die Fresnel-Volumen-Migration verwendet den Auftauchwinkel des einfallenden seismischen Signals an den Empfängern, um von diesem ausgehend einen Strahl zurück in den Untergrund zu berechnen. Der Migrationsoperator wird dann auf das Fresnel-Volumen entlang diesen Strahls beschränkt. Die Kohärenz-Migration nutzt das Verhältnis von kohärenter Signalenergie zu Gesamtenergie an benachbarten Empfängern in einem Zeitfenster um ein zu migrierendes Seismogramm-Sample herum als zusätzlichen Wichtungsfaktor in der Tiefenmigration. Damit wird das Tiefenabbild eines Reflektors oder Diffraktors durch beide fokussierenden Migrationen auf den Bereich der Zweiweg-Laufzeitisochrone begrenzt, der physikalisch zur Reflexion bzw. Diffraktion beiträgt.

Da beide Migrationsverfahren auf der prestack Kirchhoff-Tiefenmigration basieren, sind die Ergebnisse direkt miteinander und der Kirchhoff-Migration vergleichbar. Weiterhin sind beide Methoden kombinierbar, indem die Kohärenz des Signals innerhalb des Fresnel-Volumens berechnet wird, was zu einer weiteren Verbesserung des Ergebnisses führen kann.

Wir zeigen die Ergebnisse eines Vergleichs dieser Migrationsverfahren für eine hochauflösende 3D Vibroseismik Messung im Kristallin des West-Erzgebirges bei Schneeberg. Diese Messung war angelegt, um ein dominierendes Störungssystem bestehend aus steil einfallenden Elementen für die tiefengeothermale Nutzung in 4 bis 5 km Tiefe im kristallinen Festgestein abzubilden und zu charakterisieren.

## Seismik SE-4.003

### *Investigation of the shallow subsurface of the Thuringian Basin using 3D travelttime tomography*

**Krause, M.\*, Goepel, A., Bleibinhaus, F., Kukowski, N.**

Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland

In 2011 a seismic survey was carried out in the Thuringian Basin in the framework of the multidisciplinary project INFLUINS. With respect to the direction of the major fault zones, one parallel and two perpendicular VibroSeis profiles were arranged. In order to gain more information on the 3D structure of the basin, we deployed a seismic array of 10 vertical-component stations between the profiles observing the VibroSeis sources from the reflection seismic profiles.

In this study, we present results from 2.5D high-resolution travelttime tomography along the reflection profiles, and from a 3D tomography that includes the data acquired with the array. To interpret our results, we compare them with a reference model from structural geology and P-velocities from downhole seismic experiments, and with depth-migrated sections from the reflection seismic survey. While the major features are in agreement, our inversion results show much more complexity of the seismic structure with respect to the reference model in the investigation area. Due to the high P-velocity of the Lower Muschelkalk, our travelttime data is very sensitive to this layer since here most of the rays turn back to the surface. As a result, the top of the Lower Muschelkalk is well imaged throughout the model. Our model indicates that in parts of the area the Lower Muschelkalk is found 100 m deeper than expected from the reference model. Moreover, we observe a discontinuity in the P-velocity of the Upper Muschelkalk near a fault zone.

## Seismik SE-4.004

### *Prestack-Tiefenmigration des ANCORP'96 Datensatzes (N-Chile) mit Fokus auf vertikale Störungszonen*

**Wenske, I.\*<sup>1</sup>, Hellwig, O.<sup>1</sup>, Buske, S.<sup>1</sup>, Wigger, P.<sup>2</sup>, Shapiro, S.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik u. Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geowissenschaften, FB Geophysik, FU Berlin, Berlin, Deutschland

Im Forearc der Chilenischen Subduktionszone sind die Tiefenstrukturen der tausende Kilometer langen Störungszonen weitgehend unklar. Aufgrund der Länge dieser Störungen kann man jedoch davon ausgehen, dass sie sich bis in große Tiefen erstrecken. Auch deren Wechselwirkung mit transienten Vorgängen im Erdbebenzyklus der Subduktionszone ist Gegenstand aktueller Forschung. Diese Tiefenstrukturen wollen wir abbilden und charakterisieren, indem wir seismische und seismologische Daten analysieren und kombinieren. Die seismischen Daten sollen ein Abbild der Störungszonen in der Tiefe liefern. Die Korrelation dieser mit der Verteilung der Seismizität in den entsprechenden Bereichen gibt möglicherweise einen Hinweis auf die rezenten geodynamischen und insbesondere seismogenen Prozesse, die mit den Störungszonen in Zusammenhang stehen.

1996 wurde ein etwa 350 km langes reflexionsseismisches Profil aufgenommen, das, beginnend an der Küste, bei etwa 21 Grad Süd in West-Ost Richtung verläuft (ANCORP). Die ursprünglichen Ergebnisse, die mittels Kirchhoff Prestack Tiefenmigration erzeugt wurden, liefern wenig Informationen über den oberen Teil der Kruste. Eine klassische CMP-Prozessierung gerät vor allem auf Grund der geringen Überdeckung an seine Grenzen. Bei der derzeitigen erneuten Überarbeitung des Datensatzes soll eine verbesserte Abbildung der oberen und mittleren Kruste erlangt werden durch eine Anpassung der Störsignalunterdrückung und

Verwendung einer fokussierenden Prestack Tiefenmigration (Kohärenzmigration). Hauptanliegen ist dabei, die oberflächennahen und potentiell steil einfallenden Segmente der Hauptstörungen aufzulösen. Derzeitige Migrationsergebnisse zeigen deutlich mehr Informationen in der oberen und mittleren Kruste (1 - 20 km Tiefe). Einige interessante Strukturen konnten aufgelöst werden, die Abbildung steil stehenden Störungen nahe der Erdoberfläche gestaltet sich jedoch nach wie vor schwierig. Eine Anpassung des Geschwindigkeitsmodells nahe der Erdoberfläche soll eine weitere Verbesserung der Abbildung erzielen.

## Seismik SE-4.005

### *Seismoelektromagnetik als Methode zur Untersuchung von Hohlraumstrukturen?*

**Kröger, B.<sup>\*1</sup>, Fechner, T.<sup>2</sup>, Kemna, A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universität Bonn, Steinmann-Institut Geodynamik/ Geophysik, Bonn, Deutschland, <sup>2</sup>Geotomographie GmbH, Neuwied, Deutschland

Direkte Bestimmungen von Hohlraumstrukturen im Untergrund (insb. Altbergbau- und Karstgebiete) sind mit gängigen geophysikalischen Methoden (z.B. Gravimetrie, Geoelektrik) nur schwer oder nicht in der gewünschten Auflösung zu erlangen. Die Entwicklung eines voll ausgereiften seismoelektromagnetischen Verfahrens könnte das Potential besitzen, diese Einschränkungen zu überwinden. Die Seismoelektromagnetik verspricht über die Messung elektromagnetischer Felder in ihrer transienten Signatur als Antwort auf seismische Anregungen eine hochaufgelöste lithologische und räumliche Charakterisierung des Untergrundes. Je nach Art der Gesteinsformation kann es zu zwei in Ursache und Wirkung voneinander verschiedenen Phänomenen kommen: zum einen das aufgrund von Ladungsträgerseparationen beim Durchgang seismischer Wellen in einem homogenen Halbraum jeweils lokal induzierte elektrische Feld (koseismisches Feld); und zum anderen die elektromagnetische Signalantwort, die Aufgrund der partiellen Umwandlung von seismischer in elektromagnetische Energie an petrophysikalischen Inhomogenitätsgrenzen (konvertierte Welle) generiert wird.

Zwar ist die Anatomie seismoelektromagnetischer Effekte für planparallele Schichten generell bekannt. Gleichwohl existieren bis heute keine eingehenden Analysen dieser Effekte für komplexe 2D-Raumstrukturen. Im Rahmen numerischer Simulationsstudien sind deshalb über einen bereits validierten Finite-Elemente-Algorithmus solche Strukturen gezielt untersucht worden, um eine mögliche Einsatzfähigkeit der Seismoelektromagnetik zur Hohlraumerkundung zu testen. Dabei konnte erstmals die koseismische Kanalwelle, die als Wellenfeld-Interferenzsystem in geschlossenen Raumstrukturen auftritt, numerisch nachgewiesen werden. Flankierend dazu wurden darüber hinaus seismoelektromagnetische Feldmessungen an einem Entwässerungsgraben (Fulbert-Stollen in Maria Laach, Rheinland-Pfalz) durchgeführt. Die Feldmessungen zeigen insgesamt die generelle feldtechnische Reproduzierbarkeit der seismoelektromagnetischen Effekte. Simultan durchgeführte seismische Messungen gewährleisteten zudem, dass es sich bei den gemessenen seismoelektromagnetischen Effekten nicht um Artefakte handeln kann.

## SE Seismik Poster

## Seismik SE-P.001

### *Seismische Messungen in einem rezenten Subrosionsgebiet an der Kyffhäuser-Südrand Störung*

**Buness, H.<sup>\*1</sup>, Katzschnann, L.<sup>2</sup>, Schmidt, S.<sup>2</sup>, Krawczyk, C.M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland,

<sup>2</sup>Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena, Deutschland

Das Auftreten von Erdfällen und weitspannigen Senken aufgrund von Subrosion ist ein weltweit anzutreffendes Phänomen mit zum Teil gravierenden wirtschaftlichen Auswirkungen und hohem Gefährdungspotenzial. In Deutschland stellt der Südrand des Kyffhäusergebirges Vorland ein bekanntes Erdfallgebiet dar, in dem die Auslaugungsprozesse auch rezent noch ablaufen. Der detaillierte Ablauf der Prozesse, etwa deren zeitliches Voranschreiten, ist weitgehend unbekannt.

Zur näheren Charakterisierung dient eine Forschungsinitiative der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und

Geologie (TLUG) und des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik (LIAG), die mehrere Forschungsbohrungen und umfangreiche geophysikalische Messungen im laufenden Jahr sowohl im Gebiet der Stadt Bad Frankenhausen als auch in deren Umgebung umfasst. In Ergänzung der für 2014 geplanten Forschungsbohrung des LIAG an der Oberkirche in Bad Frankenhausen wurde Ende 2013 von der TLUG etwa 4 km südwestlich, im Esperstedter Ried, einem etwa 2x2 km<sup>2</sup> großen rezenten Subsidenzgebiet, eine gekernte Forschungsbohrung bis in 280 m Tiefe abgeteuft. Um die Struktur des Senkungsgebietes zu erfassen und Informationen für den Bohransatzpunkt zu gewinnen, wurden im September 2013 zwei reflexionsseismische Profile von 5 km bzw. 3 km Länge durch das LIAG gemessen.

Die reflexionsseismischen Daten sind bis ca. 500 m Tiefe strukturabbildend und von guter Qualität. Es zeichnet sich ab, dass unterhalb des Rieds der Verlauf der stratigraphischen Grenzen sehr stark variiert. Dies steht im Gegensatz zu dem in der geologischen Karte dokumentierten bisherigen Kenntnisstand. Am Westrand des Rieds deutet sich eine durch jüngere Sedimente versiegelte, ca. 200 m tiefe Auslaugungsstruktur an. Es könnte sich um eine kleine Subrosionssenke oder einen Großerdfall handeln. Unterhalb der bis zu 200 m mächtigen känozoischen Sedimente befinden sich Salze und Anhydrite des Zechsteins. Die ab einer Teufe von ca. 225 m auftretenden sehr hohen seismischen Geschwindigkeiten von über 5000 m/s sind mit erbohrten Anhydriten zu korrelieren. Die Kyffhäuser-Südrandstörung ist klar zu erkennen und damit in ihrer Lage bestimmt. Für eine weitergehende Auswertung, insbesondere der zeitlich-räumlichen Steuerung der Subsidenz durch das Zusammenspiel tektonischer und subrosiver Ereignisse, sind die Ergebnisse der aller Untersuchungen einschließlich der Forschungsbohrung einzubeziehen.

## Seismik SE-P.002

*Compiling a structural and stratigraphic model of East Siberian Sea shelf based on the onshore geological data (Chukotka, Wrangel and New Siberian Islands)*

**Verzhbitsky, V.<sup>\*1</sup>, Sokolov, S.<sup>2</sup>, Vasilev, V.<sup>1</sup>, Tuchkova, M.<sup>2</sup>, Vatrushkina, E.<sup>2</sup>, Ananov, V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Gazpromneft Science and Technology Centre, Saint-Petersburg, Russische Föderation, <sup>2</sup>Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russische Föderation

East Siberian Sea occupies a vast area of the Russian Arctic shelf and is of significant hydrocarbon prospectivity, e.g. by analogy with similar in geological structure and evolution Arctic Alaska petroleum province. Seismic anomalies and high concentrations of migrated hydrocarbon gases in the bottom sediments confirm the presence of active petroleum systems. Since no offshore wells were drilled here so far the stratigraphic age and composition of sedimentary cover remain controversial. Nevertheless its understanding is necessary for building-up the new 3D seismic-geological model and subsequent carrying out of stratigraphic simulation and basin modelling of the region. The final goal of the ongoing study is to predict occurrence of petroleum plays and to make actual resource assessment for the East Siberian Sea shelf.

The southern part of the East Siberian Sea shelf and adjacent onshore in the Late Jurassic-Early Cretaceous (pre-Aptian) were underwent by strongest regional collisional event caused by the closure of the South-Anyui ocean between Eurasian and Chukotka. We believe that Late Mesozoic compressional event and subsequent rifting significantly influenced the structural and sedimentary evolution of the East Siberian Sea region. The near-shore wells and natural outcrops on Chukotka demonstrate sections of clastic sedimentary rocks of Cenozoic age unconformably overlying folded and cleaved weathered rocks of Neocomian-Paleozoic age. The data from New Siberian Islands (Kotelny and Bel'kov Is.) also show the intensive compressional deformation of Ordovician-Jurassic sequences, overlain by Aptian-Albian strata with sharp angular unconformity. The thrust and fold deformation of Wrangel Island geological complexes took place in post-Triassic time but prior to Late Cretaceous and is most likely pre-Aptian as well.

We believe that the stratigraphic range of the sedimentary cover of the East Siberian Sea varies significantly in space. In the southern part it is mainly Cenozoic, but not older than Aptian-Albian, whereas in the northern parts it is much older. Immediately to the northwest from Wrangel Island the lowermost sections should contain (Silurian?) Upper Devonian-Carboniferous strata, whereas in the vicinity of De Long Archipelago the oldest known rocks dated as Cambrian-Ordovician (Benett Is.). The latter are just slightly involved in Early Cretaceous folding and thus constitute part of the shelf sedimentary cover.

## Seismik SE-P.003

### *Using a fibre-optic cable as Distributed Acoustic Sensor for Vertical Seismic Profiling at the Ketzin CO<sub>2</sub> storage site*

Götz, J.<sup>1</sup>, Lüth, S.<sup>1</sup>, Henninges, J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Zentrum für Geologische Speicherung, Potsdam, Deutschland,

<sup>2</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Reservoirtechnologien, Potsdam, Deutschland

At the Ketzin CO<sub>2</sub> storage site, the injection and observation wells are completed with various permanently installed downhole sensors for the continuous monitoring of CO<sub>2</sub> injection. All wells are equipped with fibre-optic cables in the annulus outside the 5-1/2" production casing. Along the optical fibres, continuous temperature measurements are performed using distributed temperature sensing technique (DTS) to analyse backscattered photons (inelastic Raman scattering). Not only temperature, but also strain influences the signal of the backscattered light (elastic Rayleigh scattering). When using an optical fibre distributed acoustic sensor, the strain on the fibre, induced by the seismic acoustic wavefield, is recorded with high temporal and spatial resolution.

Advantages of using Distributed Acoustic Sensing (DAS) technique, compared to wireline VSP at the Ketzin site, are: 1) Fibre-optic cables are already permanently installed. 2) The VSP can be acquired without lubricators. 3) The fibre-optical cable acts as massive sensor array. In the Ketzin case, 4 wells can be recorded simultaneously with one shot. Disadvantages of DAS, compared to 3C geophone recording, are: 1) With an optical fibre, only a single value reflecting the strain in the fibre, is measured. 2) The sensitivity of the fibre-optical cable is lower than that of a geophone. A VSP-DAS measurement was conducted from 27-30 May 2013 at Ketzin. Seismic waves were produced at 23 source locations, distributed on the premises close to and in between the wells, allowing a high-resolution imaging of the reservoir right below the injection site. The signal was simultaneously recorded in 4 wells along a fiber-optic cable of 5900 m length with a spatial resolution of 1 m. The seismic vibrator "Vibro-Truck Mertz M12" with a maximum peak force of 30030 lbf was used as source. For every source location 30 linear sweeps of 50 s length, with frequencies from 7-120 Hz were recorded. First analyses of the data focus on vertical stacking and cross-correlation. Especially, the number of stacks, different stacking methods (diversity, median) and different cross-correlation methods (pre- vs poststack, time vs frequency domain) are analysed. It can be shown that the DAS experiment was successful: Good signal-to-noise ratios are obtained for all of the source points, downgoing and upgoing waves are observed within every well. The next step will be the imaging of the VSP data with prestack depth migration algorithms.

## Seismik SE-P.004

### *Ersteinsatztomographie eines 3D-Seismik Datensatzes im Rahmen der Erkundung eines Geothermiestandortes im Raum Schneeberg (Sachsen)*

John, S.\*, Hlousek, F., Buske, S.

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

Das Verbundprojekt "Seismik im Kristallin Sachsen" dient der Abbildung und Charakterisierung eines tiefengeothermalen Reservoirs im Raum Schneeberg (Sachsen). Dazu wurde im Herbst 2012 eine 3D-Vibroseismik-Messung auf einer Fläche von 10x13 km durchgeführt. Ergänzend dazu wurden 23 radial um den möglichen Bohransatzpunkt angeordnete Sprengungen mit der gleichen Vibroseismik-Auslage aufgezeichnet. Das generelle Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines 3D-Geschwindigkeitsmodells mittels Ersteinsatztomographie im zentralen Bereich der Messungen aus den Daten der Spreng- und 3D-Vibroseismikmessung. Die Verifizierung des Auflösungsvermögens mit der gegebenen Akquisitionsgeometrie erfolgt mittels synthetischer "checkerboard" Tests unter Einbeziehung verschiedener Startmodelle. Die Erkenntnisse aus den synthetischen Tests wurden zur Erstellung eines "regionalen" Geschwindigkeitsmodells aus der Sprengseismik bis in eine Tiefe von ca. 1,5 km verwendet. Dieses Geschwindigkeitsmodell dient als Startmodell für die Ersteinsatztomographie aus den Daten der gesamten 3D-Vibroseismikmessung und wird insbesondere durch die Einbeziehung dieser 3D-Daten das oberflächennahe Geschwindigkeitsmodell deutlich besser auflösen.



## Seismik SE-P.005

### *High frequency noise studies at the Hartousov mofette area (CZE)*

**Umlauf, J., Pommerenke, J., Flores, H.\*, Schmidt, A.**

Institut für Geophysik und Geologie, Universität Leipzig, Leipzig, Deutschland

The acoustic signals from the degassing process at the Hartousov mofette area may act as high frequency noise sources. From this assumption we used different array geometries to record noise continuously during at least one hour to investigate the characteristics of the noise wave-field, such as the specific frequency range and the source distribution. We installed triangular arrays with 3 component geophones: the first deployment consisted on two co-centric triangles with side length of 30 and 50 m with the mofette in the center; the second deployment consisted on two triangular arrays, both with side length of 30 m, co-directional to the mofette. Furthermore, we also installed profiles with 24 channels and vertical geophones locating them in different positions with respect to the mofette.

Here, we show preliminary results from the data analysis of each array geometry. From the spectral analysis we have found that the energy is concentrated between 10 and 40 Hz. The surface wave inversion provides a velocity model down to 12 m with an S-wave velocity between 160 and 180 m/s on the uppermost layer. The interferometric signal properties indicate that the mofette cannot be characterized as a punctual source, but rather as a conglomerate of multiple sources with time and location variations.

## Seismik SE-P.006

### *Oberflächennahe Erkundung durch seismische Tomographie - ein Beitrag zur Bauwerkssicherung beim Autobahnbau*

**Swoboda, U.\*, Hartmann, C.**

DMT GmbH & Co. KG, Geschäftsfeld Exploration & Geosurvey, Essen, Deutschland

In Deutschland gibt es ca. 39 000 Brücken, von denen nach Angaben des Verkehrsausschuss des Bundestages 2500 Brücken auf ihren Sanierungsbedarf hin untersucht werden müssen. Die Ausgaben für die Instandhaltung und den Neubau von Brückenbauwerken werden demzufolge in den kommenden Jahren voraussichtlich einen enormen Anteil der Bundes- bzw. Länderfinanzen einnehmen.

Die geologischen Verhältnisse sind oftmals aus der Bauhistorie heraus eher unzureichend genau bekannt und können daher zu Verzögerungen von Baumaßnahmen führen. Durch geophysikalische Messungen können zusätzliche Informationen über den Aufbau und den Zustand des bauseitigen Untergrunds gewonnen werden und somit derartige Risiken erheblich reduziert werden.

Anhand aktueller Projektbeispiele sollen die Möglichkeiten der Erkundung des oberflächennahen Untergrunds von bestehenden oder neuen Brückenbauwerken mit seismischen Methoden aufgezeigt werden. So werden bei regional bekannter Karst-Problematik seismische Tomographien gezielt in den Bereichen der Stützen und Fundamente durchgeführt, um mögliche lokale und geotechnisch relevante Karsterscheinungen (Hohlräume) zu erkennen und zu orten.

Die gezeigten Beispiele geben Einblick in die methodische Vorgehensweise der eingesetzten Verfahren "Refraktionstomographie" und "Crosshole Tomography". Die erzielten Ergebnisse werden präsentiert und zur Diskussion gestellt. Hierbei soll insbesondere auch auf den Zusammenhang zu weiterführenden geotechnischen Maßnahmen eingegangen werden.

## Seismik SE-P.007

### *Seismische Modellierung von maximalen Bodenschwinggeschwindigkeiten im Nahfeld von kaskadierten Vibroseis-Quellen*

**Lüttschwager, G.\*<sup>1</sup>, Bohlen, T.<sup>1</sup>, Ritzmann, O.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland,

<sup>2</sup>Wintershall Holding GmbH, DEG, Barnstorf, Deutschland

Kaskadierte seismische Vibratoren regen seismische Wellen in einem Frequenzbereich zwischen 5 und 100 Hz an und sind in der 3D-Landseismik eines der wichtigsten Verfahren zur zerstörungsfreien Erzeugung seismischer Signale - insbesondere in besiedelten Gebieten und im Umfeld von Bebauung. Die DIN 4150 definiert hierzu Anhaltswerte für maximal zulässige Schwinggeschwindigkeiten für unterschiedliche Bebauung (Wohngebäude, Industriebauten, etc.). Erfahrungen aus Feldmessungen zeigen in einigen wenigen Fällen unerwartet hohe lokale maximale Bodengeschwindigkeiten (PPV) im Nahfeld dieser Quellen (Entfernungen bis 100m), die zur Gefährdung von Bauwerken führen können. Systematische Studien zu deren Erklärung liegen bisher nicht ausreichend vor. In dieser Studie werden daher systematische viskoelastische Simulationsrechnungen des Nahfeldes mit der 3-D Finite-Differenzen Methode für verschiedene realistische Untergrundmodelle durchgeführt. Ziel ist die Erstellung von PPV-Karten im Umfeld von Vibratoren sowie die Identifikation der wesentlichen Einflussfaktoren, die zu lokalen Maxima der Bodengeschwindigkeiten führen können. Bisherige Resultate für einen geschichteten Untergrund zeigen:

1) Die Abstrahlcharakteristik der kaskadierten Vibroseisquellen ist komplex und weist an der Erdoberfläche durch die Interferenz dispersiver Rayleighwellen lokale Erhöhungen der maximalen PPV auf, welche die zulässigen Werte nach DIN 4150 deutlich überschreiten. Die Simulationen zeigen dabei vereinzelt eine Vervielfachung der PPV über eine Entfernung von wenigen Metern. 2) Die Dämpfung der seismischen Wellen im Untergrund hat maßgeblichen Einfluss auf das Abklingverhalten der PPV-Verteilung im Nahfeld und somit auf die Ausdehnung der gefährdeten Bereiche. 3) Die Verteilung und Ausdehnung der Bereiche mit stark erhöhter PPV hängt besonders von den Dispersionseigenschaften der Rayleighwellen und damit von der vertikalen seismischen Geschwindigkeitsverteilung im Untergrund ab.

## Seismik SE-P.008

### *Seismic reflection profiling of the Baza Basin (Southern Spain) - Preliminary results*

**Baumann-Wilke, M.\*<sup>1</sup>, Haberland, C.<sup>1</sup>, Stiller, M.<sup>1</sup>, Gibert, L.<sup>2</sup>, Jurado, M.J.<sup>3</sup>, Scott, G.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>GFZ Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Universitat de Barcelona, Barcelona, Spanien, <sup>3</sup>Institute of Earth Sciences Jaume Almera, CSIC, Barcelona, Spanien, <sup>4</sup>Berkeley Geochronology Center, Berkeley, USA

The intra-mountain Baza Basin in Southern Spain is the largest of the Late Neogene continental basins of the Betic Cordillera. It provides an up to 2.5 km thick archive of lacustrine and ancillary continental deposits from the last 7 million years. Due to the specific conditions of the sediment deposition, the Baza basin is a unique site for paleo-climatic studies including studies of climate change and paleo-climatic events in the western Mediterranean as well as on a global scale. A planned ICDP drilling project (LARSEI - LAcustrine Record of SE Iberia) proposes to drill the Baza evaporitic basin in order to analyze in detail the sedimentary record. Prerequisite for future drilling activities is the profound knowledge of the basin structure and local zones of neo-tectonic deformation, mainly related to the Baza fault bounding the basin to the west. Therefore, controlled-source seismic measurements are used to investigate the subsurface of the Baza Basin. The aim of the measurements is 1) to study the structure of the sedimentary basin and of the fault system bounding the basin, and 2) to provide structural information for the planned scientific drilling project. End of October 2013 a net of three 2D seismic profiles was acquired crossing the Baza Basin and the bounding fault system. Each of the profiles was 18 km long and all profiles were arranged crossing each other. A vibroseis source (two vibrators with 200 kN peak force each) was used with a source point spacing of 60 m. At each source location 8 sweeps using a frequency range of 8 - 100 Hz were conducted. A cable-free acquisition system consisting of more than 330 stand-alone digital data recorders was spread along the currently active profile. The recorders, having a spacing of 20 m, were moved in a roll-along configuration. The seismic data of the three profiles were conventionally processed so far. We present current results of the ongoing seismic reflection processing.

*Data regularization for joint seismic surveys based on diffraction transformation*

**Kurashov, I.\***

Ural State Mining University, Department of Oil and Gas Geophysics, Yekaterinburg, Russische Föderation

Currently, for the territory of Western Siberia, Russia, the important issue is a combining of seismic surveys carried out at different times and with different parameter values (SI, RI, fold, etc.). Now, the most common solution is a different options of seismic trace interpolation based on five parameters (time, coordinates of shot and receiver points) for filling gaps in the regular observation network. However, the interpolation procedure is a purely mathematical operation, while it would be appropriate to use the methods based on the physical nature of the propagation of seismic waves. One such solution is possible on the basis of the diffraction transformation during which the original seismic traces can be recalculated on specially selected points or area of surveillance network.

The core of the described method is inverted double square root equation; with help of such approach, the original amplitude-time conversion operator of seismic traces was built. So, for an unknown location of diffraction source, original seismic traces can be repeatedly transformed to the special area in the vicinity of the middle (or other) point, and the overlap of these areas provides sufficient stacking fold and constructive interference of a signal. The result is the algorithm for local increasing of stacking fold and density of seismic traces, by the extensive using of traces that don't belong to symmetric source-receiver gather (like in CRS or Multifocusing technology). Also, for this method becomes possible the separation of specular and diffracted components of the seismic wave field, with aim to improvement of the quality of the geophysical and geological interpretation of data. Efficacy of such method examined on the example of merging of two seismic surveys, which were performed for the purpose of prospecting and exploration of oil and gas fields in the central part of Ob River valley, Western Siberia. The main objective was to improve imaging of Lower Cretaceous and Upper Jurassic sediments in the area of surveys compound, as well as common noise reduction on the final records. Ultimately, these tasks successfully implemented; on the resulting images we can see the steady increasing of signal-to-noise ratio, better tracking of reflectors in the target range and a significant reduction of heterogeneity in stacking fold and density of seismic traces for the joint regular surveillance network.

# SO Seismologie

## Seismologie SO-1.001

*Der Deutsche Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS)*

**Schmidt-Aursch, M.\***

Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Deutschland

Der Deutsche Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS) wurde im Jahre 2005 als Großgerät für die deutsche Forschung gegründet. Er besteht zur Zeit aus 100 breitbandigen seismologischen Landstationen, welche in den Geophysikalischen Gerätepool Potsdam (GIPP) des Helmholtz-Zentrums Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ) integriert sind, sowie rund 80 breitbandigen Ozeanboden-Seismometern (OBS), die technisch und organisatorisch vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) betreut werden.

Die DEPAS Landstationen sind alle baugleich und bestehen aus Standardkomponenten, darunter einem 24-bit *Earth Data* Datenlogger und einem 60-Sekunden *Guralp* Seismometer. Sie werden komplett mit Transportboxen und Solarkollektoren verliehen. Die Ozeanboden-Seismometer haben mit ihrem 24-bit *Send* Datenlogger und ebenfalls einem 60-Sekunden *Guralp* Seismometer vergleichbare technische Parameter. Dazu kommen noch OBS-spezifische Komponenten wie Hydrophon, Auftrieb und Ankergewicht oder Peilsender und Blitzlicht. Die OBS können bis zu Wassertiefen von 6000 m, einige Geräte sogar bis 7300 m Tiefe, eingesetzt werden, die maximale Standzeit am Meeresboden beträgt dabei je nach Typ zwischen 8 und 18 Monaten.

Die Geräte stehen allen Wissenschaftlern von deutschen Universitäten und Großforschungseinrichtungen auf Antrag zur Verfügung, Antragsteller von ausländischen Instituten benötigen einen deutschen Kooperationspartner. Alle Anträge werden von einem externen Lenkungsausschuss und einem internen Beirat begutachtet. Bisher wurden weltweit 28 marine Projekte mit DEPAS Ozeanboden-Seismometern abgeschlossen, dazu kommen noch einige Projekte unter Verwendung von DEPAS Landstationen. Die Datenqualität der breitbandigen OBS ist überwiegend gut, vorallem wenn man die ungünstigen Bedingungen auf dem Meeresboden wie hohes Rauschen und schlechte Ankopplung bedenkt. Der DEPAS Pool bietet somit eine gute Möglichkeit zur Verwirklichung mariner oder amphibischer seismologischer Experimente.

Dieser Beitrag stellt die Technik der Landstationen und Ozeanboden-Seismometer des DEPAS Geräte-Pools vor, erläutert das Antragsverfahren und die Datenarchivierung und präsentiert ausgewählte Datenbeispiele.

## Seismologie SO-1.002

*Inkohärente Arrayanalyse zur Untersuchung von Po/So Phasen in der ozeanischen Lithosphäre im Nordost-Atlantik mit Registrierungen des DOCTAR Tiefsee-Arrays*

**Krüger, F.<sup>1</sup>, Dahm, T.<sup>\*1,2</sup>, Hannemann, K.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Uni Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

Refraktierte Raumwellen im ozeanischen oberen Mantel zeichnen sich durch ungewöhnlich hohe Frequenzen ( $> 5$  Hz) bis in große Beobachtungsdistanz (1500 km) und lang anhaltende Coda aus. Dies kann genutzt werden, um schwache Erdbeben noch in großer Distanz mit Ozeanboden-Seismometern zu detektieren. In einer Pilotstudie im Nordost-Atlantik im Bereich der ozeanischen Platte zwischen Portugal, den Azoren und Madeira können wir zeigen, dass ein mittelgroßes Array bei 38.4 N 18.38 W in 4-5 km Wassertiefe zur automatischen Detektion und Richtungsbestimmung von Erdbeben in der ozeanischen Platte genutzt werden kann. Wir nutzen dazu eine inkohärente Beamforming Technik, die auf STA/LTA basierte charakteristische Funktionen angewendet wird. In den 10 Monaten des Experimentes können so etwa 900 Ereignisse bis etwa 500 km Distanz detektiert und mittels Backazimuthbestimmung und So - Po Differenzlaufzeiten grob lokalisiert werden. Der Vergleich mit ISC Lokalisierungen zeigt, dass für bestimmte Regionen wie die kontinentalen Schelfregionen und die Azoren-Mikroplatte auch für starke Ereignisse kein Po und So zu beobachten ist.

Es zeigt sich außerdem, dass die So Phasen innerhalb des Arrays eine azimuthale Anisotropie von etwa 8 % in der Ausbreitungsgeschwindigkeit zeigen mit schneller Richtungsorientierung in NS Richtung. Für Po hingegen läßt sich die mögliche Stärke der Anisotropie auf unter 1 % begrenzen. Es handelt sich wahrscheinlich um die erste derartige Anisotropiebeobachtung, allerdings differiert die beobachtete Richtung für So von schnellen Achsenrichtungen in globalen Modellen.

## Seismologie SO-1.003

### *Erdbebensignale auf MT-Stationen und ihre Übertragungsfunktionen*

**Dzieran, L.<sup>\*</sup>, Thorwart, M., Rabbel, W.**

Institut für Geowissenschaften, Geophysik, CAU Kiel, Kiel, Deutschland

Signale von Erdbeben können auf den B- und E-Feldkomponenten von MT-Stationen registriert werden. Die Ursache dafür wird anhand von Daten aus Costa Rica untersucht. Dort wurden von März 2010 bis August 2011 seismologische und magnetotellurische Langzeitmessungen oberhalb der seismisch aktiven Subduktion der Cocos Platte durchgeführt. Insgesamt konnten 10 lokale Erdbeben mit unterschiedlicher Qualität auf den MT-Stationen beobachtet werden. Wir präsentieren seismische und magnetotellurische Spuren einiger ausgewählter Ereignisse.

Die Aufzeichnungen auf den B-Feldkomponenten zeigen hochfrequente, klare P- und S-Phasen mit Coda. Die Wellenform ähnelt der Signalform der seismischen Bodenbeschleunigung. Auf den E-Feldkomponenten sind die Signale der Erdbeben in der Regel weniger gut zu sehen. Sie sind tieffrequenter ( $\sim 3$  Hz) und zeigen keine klaren Einsätze. Sie scheinen eher proportional zur Bodengeschwindigkeit zu sein.

Die Signale auf den B-Feld-Komponenten lassen sich durch die Kippbewegung der Spule auf Grund der durchlaufenden Erdbebenwelle erklären. Dieses wurde theoretisch hergeleitet und an Hand der Daten verifiziert. Induzierte Amplituden auf Grund lateraler Bewegungen der Spulen sind um mehrere Größenordnungen kleiner. Daher kann dieser Effekt vernachlässigt werden. Für die Signale auf den E-Feld-Komponenten kann eine laterale Bewegung der Elektroden im Magnetfeld als Ursache ausgeschlossen werden. Daher wird untersucht, ob sie durch bekannte seismo-elektrische Effekte erklärt werden können.

## Seismologie SO-1.004

### *Breitbandiger Seismometervergleich - Auswertung eines Huddle Tests am BFO*

**Mader, S.<sup>\*1</sup>, Widmer-Schmidrig, R.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian Albrechts Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland, <sup>2</sup>BFO, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Nachdem die STS-1 und STS-2 Seismometer von Streckeisen am BFO sowohl vertikal als auch horizontal bei langen Perioden nachweislich zu den ruhigsten im globalen Netz (GSN) gehören hat sich der Hersteller bereit erklärt uns zwei STS-2.5 der neuesten Generation zwecks Test zu Verfügung zu stellen

Um das Eigenrauschen der Sensoren zu schätzen führen wir einen Huddle Test durch, bei dem mehrere Sensoren auf einem Sockel unmittelbar nebeneinander installiert und betrieben werden. Zur Schätzung des Eigenrauschens wird das Verfahren von Sleeman et al. (BSSA, 2006) auf Rauschsignale angewendet. Die zwei zu untersuchenden Seismometer werden zusammen mit einem STS-2 und einem klassischen elektrodynamischen Johnson-Matheson Vertikalseismometer mit rauscharmem Vorverstärker auf einem Sockel im Stollen des BFO vor der Druckschleuse betrieben. Als Datenerfassungen dienen eine Quanterra Q330HR und eine Q330-dualHR. Bei hohen Frequenzen unterscheiden sich die STS-2.5 nur unwesentlich vom STS-2: ihr Eigenrauschen ist nahezu identisch. Beide können das seismische Rauschen am BFO bis mindestens 30Hz (Spektrale Leistungsdichte PSD von -150dB rel. 1 ( $\text{ms}^{-2}$ )<sup>2</sup>/Hz @ 30Hz ) auflösen.

Für die Untersuchung des langperiodischen Eigenrauschens haben wir zuerst die Tief-pass gefilterten Seismogramme im Zeitbereich verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Signale der Erdbeben auf den Horizontalkomponenten überlagert sind von vielen transienten Impulsen, deren Amplituden um ein Vielfaches größer sind als die Erdbeben. Da diese Transienten nie zeitgleich auf zwei Seismometern auftraten konnten wir ausschließen, dass es sich um Bewegungen des gesamten Sockels handelt. Da die Transienten immer gleichzeitig auf den zwei Horizontalkomponenten eines Seismometers auftraten, aber

nicht auf der dazugehörenden Vertikalkomponente, war klar, dass es sich um eine Neigung des Seismometers handeln musste. Das Signal konnte auch als eine Stufe in der Beschleunigung interpretiert werden, welche durch eine Senkung einer Fußschraube um nur einen Atomdurchmesser (also ca. 0.1nm) verursacht wird. Erst nach wiederholtem Experimentieren mit metallischen Unterlagsscheiben und festcemetierten Glasplättchen gelang es, Gezeiten ohne transiente Beulen zu registrieren. Nebst Rauschspekren zeigen wir Vergleiche von Gezeitensignalen und Eigenschwingungsspekren des Mw7.6 Pakistan Bebens.

## Seismologie SO-2.001

*Tomography in West Bohemia: A comparison of the velocity structures imaged from recurring microseismic swarms*

**Alexandrakis, C.\*<sup>1</sup>, Calo, M.<sup>2</sup>, Vavrycuk, V.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geophysics and Geoinformatics, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland, <sup>2</sup>Berkeley Seismological Laboratory, UC Berkeley, Berkeley, USA, <sup>3</sup>Institute of Geophysics, Czech Academy of Sciences, Prague, Tschechische Republik

West Bohemia is located at the suture of three lithosphere plates, it is and dominated by the presence of the Eger Rift as well as the Cheb basin with its distinct Quaternary volcanism. This complex tectonic setting results in localized, periodic earthquake swarms throughout the region and many CO<sub>2</sub> springs and gas exhalation sites. The region around Nový Kostel is the most active swarm earthquake area and experiences frequent swarms of several hundreds to thousands of earthquakes over a period of weeks to several months. It is a unique study area, since the swarm region is surrounded by the West Bohemia Seismic Network (WEBNET), which represents a dense monitoring array and provides observations in all directions. Larger swarms, such as those in 1985/1986, 1997, 2000, 2007 and 2008, have been studied in terms of source mechanisms and swarm characteristics. The seismicity always occurs in the same area and depth range (6-15 km), however the active fault planes differ from one swarm to the next. This may indicate changes to the local stress field and perhaps relates to the complicated tectonic situation in combination with migrating fluids.

Even though the swarms have been extensively examined, characterized and compared, the earthquake triggering mechanisms are still not understood. This has motivated many studies, including proposals for a reflection seismic profile directly over the swarm area as well as multidisciplinary monitoring through an ICDP initiative.

In this study, we image the velocity structure in the Nový Kostel swarm earthquake region using data from the 2008 and 2011 swarms. P- and S-velocity models are calculated using double-difference tomography. P-to-S velocity ratio models reveal interesting features which correlate with patterns in the microseismic swarms. These features are interpreted in relation to the local geology and the potential influence of migrating fluids as one possibility of the underlying triggering mechanisms.

## Seismologie SO-2.002

*Abbild von P- zu S-Wellengeschwindigkeitsverhältnissen in der Nord-Chilenischen Subduktionszone*

**Bloch, N.W.\*, Kummerow, J., Wigger, P., Shapiro, S.A.**

Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Wir präsentieren ein Abbild der dreidimensionalen Verteilung von V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>-Verhältnissen im Forearc der Nord - Chilenischen Subduktionszone. Diese basieren auf der Beobachtung von 5300 seismischen Ereignissen, die im Zeitraum zwischen 2005 und 2013 von zwei temporären lokalen Netzwerken in dieser Region aufgezeichnet wurden. Zur Bestimmung der V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>-Verhältnisse wurden die Ankunftszeitunterschiede von nahe beieinander liegenden Ereignispaaren ausgewertet, deren Laufzeitunterschied auf das jeweilige lokale V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>-Verhältnis in der Umgebung des Quellbereiches zurückzuführen ist. Die kontinentale Kruste zeigt eine insgesamt recht homogene Verteilung von leicht erhöhten V<sub>p</sub>/V<sub>s</sub>-Werten (~1.75).

Im Kontaktbereich zwischen der kontinentalen und der ozeanischen Kruste der subduzierten Nazca Platte

beobachten wir in Tiefen >40km erhöhte Vp/Vs-Verhältnisse von 1.80 bis 1.90 - ein möglicher Hinweis auf freies Wasser in diesem Bereich. Zwischen 40 und 60km Tiefe nehmen die Vp/Vs-Verhältnisse ab. Entlang eines zweiten parallelen Seismizitätsbandes im obersten Mantel der subduzierten ozeanischen Lithosphäre zeigt sich ein ähnlicher Trend von ebenfalls erhöhten Vp/Vs-Werten in flachen Tiefen zwischen 50 und 70km und leicht erniedrigten Werten darunter. Im Bereich zwischen 80 und 120km Tiefe, in dem im Slab typischerweise hochgradig metamorphorphe Mineralreaktionen stattfinden, zeigen sich insgesamt verringerte Vp/Vs-Werte. Die Ergebnisse zeigen, dass die großräumige Anwendbarkeit der Methode zur Vp/Vs-Bestimmung möglich ist und konsistente Vp/Vs-Verhältnisse liefert. Die vorläufige Interpretation der Daten deutet auf freies Wasser im flacheren Bereich der Nord-Chilenischen Subduktionszone hin. Die systematische Verringerung der Vp/Vs-Werte mit der Tiefe lässt möglicherweise die räumliche Eingrenzung von Mineralphasenübergängen zu.

## Seismologie SO-2.003

### *Investigation of upper mantle seismic discontinuities beneath the North Atlantic: the Azores, Canary and Cap Verde plumes*

**Saki, M.<sup>1</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>, Nippres, S.<sup>2</sup>, Lessing, S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Geophysics, University of Hamburg, Hamburg, Deutschland, <sup>2</sup>AWE Blacknest, Reading, UK

Investigation of the seismic discontinuities that mark the top and bottom of the mantle transition zone helps to understand the dynamics of the mantle. Underside reflections of P and S seismic waves from these discontinuities arrive as precursors to the PP and SS phases. Their travel times can be used to investigate topography of the mantle transition zone boundaries. In this study we map the upper mantle seismic discontinuity depths and topography within a large area of the Northern Atlantic with focus on the three major Atlantic hotspots: the Azores, Canaries and Cap Verdes. We analyzed over 1600 events with  $M_w > 5.8$ . Using several source-receiver combinations enables us to have a dense coverage of PP and SS reflection points. Array seismology methods e.g., vespagrams, slowness-backazimuth analysis were applied to enhance the signal to noise ratio. The differential travel time between the precursors and the PP and SS arrivals on each robust stack are a measure of the depths of the reflectors. The depth measurements are indicative of a correlation between the location of hotspots and significantly depressed 410 km discontinuity. Due to the opposite sign of the Clapeyron slope of the phase changes of olivine to spinel and spinel to perovskite located at these two discontinuities, we would expect to have a thinner transition zone comparing with the normal state in case of intersection of a mantle plume. However it is possible that at higher temperatures i.e., in regions of upwellings additional phase transition of the majorite-garnet to perovskite become dominant which implies deeper 660 km discontinuity depth. For the 660 km discontinuity a smooth transition from normal depths in the north near Greenland to an elevated 660 km discontinuity towards the west of the hotspots is visible. We interpret these observations as a large upwelling beneath the southern part our study area, which is possibly blocked by the 660 km discontinuity and does not extend through the transition zone except those branches which appear as the Azores, Canaries and Cap Verde hotspots on the surface.

## Seismologie SO-2.004

### *Kartierung rezenter Tektonik im Mont Terri Felslabor*

**Blascheck, P.\*, Joswig, M.**

Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Das Mont Terri Felslabor liegt in der Schweiz im Kanton Jura. Das Mont Terri Projekt erforscht die Möglichkeiten zur Endlagerung von radioaktivem Abfall in Opalinuston. Durch das Felslabor streicht eine Verwerfungszone von Nord-Westen nach Süd-Osten, welche sehr umfänglich multidisziplinär untersucht wurde, jedoch bisher nicht im seismologischen Kontext. In den letzten 30 Jahren ereigneten sich, im Bereich 5 km um das Felslabor, 15 vom Schweizer Erdbebendienst registrierte Erdbeben, jedoch wurde seit 2008 keines mehr registriert. Diese Erdbeben hatten eine Lokalmagnitude von  $M_L$  1,79-3,26.

Das Institut für Geophysik der Universität Stuttgart untersuchte in zwei Messkampagnen (drei und fünf Wochen) mit Nanoseismic Monitoring als seismisches Mikroskop die rezente Aktivität der Verwerfung. Während der ersten Kampagne konnten vier, in der zweiten Kampagne fünf seismische Ereignisse im Umkreis von 3 km lokalisiert werden. Die erfassten Beben hatten eine Magnitude -1.8 bis -0.8 und zeigen eine Kurzzeit-Manifestation derselben Tektonik wie die vom SED gemessenen Seismizität. Für eine eingehende Untersuchung des Zusammenhangs ist ein permanentes Monitoring geplant. Die Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie werden präsentiert und die Ziele eines möglichen Folgeprojekts diskutiert.

## Seismologie SO-2.005

### *Fresnel zone imaging of receiver functions*

**Mullick, N.\*, Buske, S.**

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

The receiver function method is a widely applied and powerful technique to obtain structural information of the crust and mantle. In its standard implementation, the depths to interfaces are interpreted from the arrival time delay of waves converted at these interfaces relative to the direct P waves. In recent times, common methods from exploration seismics (e.g. Kirchhoff prestack depth migration) have been used to image the converters instead. However, these methods are in principle not designed for receiver function imaging because of the usually non-uniform and less dense source-receiver coverage, which may lead to results dominated by significant migration noise. In this study, we present a new imaging technique that works by restricting the migration operator to the Fresnel zone in the vicinity of the conversion point at the interface. Both a synthetic test and an application to a real data set show great improvements of image quality over standard Kirchhoff migration results particularly in the case of less favorable source receiver geometry.

## Seismologie SO-3.001

### *The 100th anniversary of the identification of seismic core phases and the definition of the Core-Mantle Boundary (CMB) by Beno Gutenberg*

**Schweitzer, J.\***

NORSAR, Kjeller, Norwegen

In the year 1913, Beno Gutenberg (1889-1960) published a small notice of two pages in the *Physikalische Zeitschrift* with the title "Über die Konstitution des Erdinnern, erschlossen aus Erdbebenbeobachtungen" (About the constitution of the Earth's interior, developed from earthquake observations). With this preliminary note Gutenberg showed for the first time a full model of the seismic velocities in the Earth and at the core-mantle boundary, which he had correctly found in a depth of about 2870 km. For this he analyzed observed P- and S-wave onsets, which had been reflected or refracted by the Earth's core. All details of his study were then published one year later in a 52 pages long article in the *Nachrichten von der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*. At first, the earlier works on this matter by Emil Wiechert (1861-1928) and Richard D. Oldham (1858-1936) will be presented. A review of Gutenberg's results will follow as well as a discussion about how his contribution improved our knowledge of the Earth's internal structure.



## Seismologie SO-3.002

### *Das angebliche Schadenbeben von Köln am 24. Oktober 1841 – Geschichte einer Verwechslung* **Lehmann, K.<sup>1</sup>, Leydecker, G.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Geologischer Dienst NRW, Landeserdbebendienst, Krefeld, Deutschland, <sup>2</sup>-, Isernhagen, Deutschland

In den aktuellen Erdbebenkatalogen wird für den 24. Oktober 1841 ein Beben angegeben, das in Köln Gebäudeschäden verursacht haben soll. Der Epizentralintensität werden deshalb Werte zwischen VII (Mercalli-Sieberg) und VI (EMS) zugeordnet. Da die Berichte zu diesem Erdbeben ausschließlich Köln benennen, wird auf eine geringe Herdtiefe von 4 km und auf eine kleine Magnitude von  $M_L = 4,5$  geschlossen. Die Zurückverfolgung der Quellen anhand der angegebenen Referenzen und eine Recherche der verfügbaren Literatur führt auf fast wortgleiche Artikel in vier Pariser Tageszeitungen des Jahres 1841, in denen Köln in Verbindung mit diesem Erdbeben genannt wird. Weitere Quellen, die Bebenwirkungen in Köln und Umgebung beschreiben, konnten nicht gefunden werden. In der von Jakob Nöggerath (1788 – 1877) in den 1840er Jahren detailliert untersuchten lokalen Erdbebentätigkeit in der preußischen Rheinprovinz kommt eigentümlicherweise das Beben vom 24. Oktober 1841 nicht vor.

Text- und Quellenvergleiche mit Artikeln aus Zeitungen im Kaiserreich Österreich zeigen klar, dass sich die Beschreibungen des Schadenbebens vom 24. Oktober 1841 auf ein signifikantes Erdbeben in Komorn (Ungarn / Slowakei) beziehen. Die Berichte zu Köln in den französischen Zeitungen stimmen fast wortgleich mit den Beschreibungen zu Komorn überein. Die explizite Nennung von Köln in diesen Zeitungen ist damit entweder lediglich als Sitz des Korrespondenten der Pariser Zeitungen zu verstehen oder möglicherweise auch nur einem Schreibfehler geschuldet. Das angebliche Schadenbeben vom 24. Oktober 1841 in Köln ist somit aus den Erdbebenkatalogen zu streichen.

Für die Erdbebengefährdung im Bereich der Niederrheinischen Bucht ergeben sich keine signifikanten Änderungen. Die Untersuchung zeigt, dass in Quellenrecherchen zu Erdbeben aus historischer Zeit noch Potenzial liegt, das Bild der Seismizität auf lokaler und regionaler Skala zu präzisieren.

## Seismologie SO-4.001

### *Surface wave tomography of central and northern Europe from automated inter-station dispersion measurements*

**Soomro, R.A.<sup>1</sup>, Weidle, C.<sup>1</sup>, Lebedev, S.<sup>2</sup>, Cristiano, L.<sup>1</sup>, Behrmann, J.<sup>3</sup>, Meier, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland, <sup>2</sup>School of Cosmic Physics, Dublin Institute for Advanced Studies, Dublin, Irland, <sup>3</sup>GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Energie und Rohstoffe, Kiel, Deutschland

With the rapid, global growth in the no. of seismic stations, automated analysis routines are inevitable to extract seismic observables from these large data volumes. For surface wave tomography, phase velocity dispersion curves of fundamental mode surface waves yield information on the isotropic as well as anisotropic structure of the crust and upper mantle. We measure inter-station phase velocity dispersion curves through cross correlation of vertical and transverse component seismograms.

After testing various parameters for automation of the procedure we find that automated selection of segments of a given phase-velocity curve requires three parameters only, namely difference of the measured curve from a background model, a smoothness constraint and a length criterion. Before averaging phase velocities for one path, outliers are rejected. We performed rigorous tests to optimize the selection parameters. Interestingly, rough perturbations in the phase velocity curves do not bias the average phase velocities towards larger values which indicates a rather random perturbation of the uncertainties.

We successfully applied the method to more than one hundred thousand inter station paths in central and northern Europe, involving more than one million cross correlations on 20 years of data from permanent networks.

After inversion of the fundamental mode phase velocity dispersion curves for both Rayleigh and Love waves, we obtain high resolution anisotropic phase velocity maps for periods between 10 and 250 seconds with a lateral resolution between about 50 to 200 kilometers in Central Europe.

At short periods the North-German-Polish sedimentary basins and the Alpine crustal root are clearly imaged by low velocities. At longer periods, a shallow Central European asthenosphere beneath the regions of Cenozoic volcanism is found. The transition from the Central European asthenosphere to the intact mantle

lithosphere of the East European Craton along the Trans-European Suture Zone shows a distinct internal 3D structure. At depth between about 70 km to 100 km the strongest lateral heterogeneity is found in the region of the Elbe line whereas a very sharp boundary is present at the Tornquist-Teisseyre-Zone at greater depths. Azimuthal anisotropy at lower crustal depths differs between Variscan, Cadomian, and Caledonian domains. It is interpreted as frozen-in anisotropy as the fast directions of azimuthal anisotropy in the underlying asthenosphere are different.

## Seismologie SO-4.002

### *Resonante ozeanische Anregung langperiodischer Oberflächenwellen*

**Häfner, R.<sup>1</sup>, Widmer-Schmidrig, R.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland, <sup>2</sup>BFO, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Die sphäroidalen und toroidalen Hintergrundeigenschwingungen der Erde sind kontinuierlich angeregt. Ein möglicher Anregungsmechanismus ist eine Wechselwirkung ozeanischer Infraschwerewellen an Flanken periodischer Bathymetrie in Ozeanbecken. Während ein statistisches Modell einer solchen resonanten ozeanischen Anregung sowohl der entsprechenden Love- als auch Rayleighwellen existiert, steht die Modellierung des Quellmechanismus anhand realistischer Bathymetrien und Infraschwerewellenfelder noch aus.

Existierende Software zur Berechnung synthetischer Seismogramme geht meist von impulshaften Momententensorquellen aus, wir sind hingegen an Seismogrammen räumlich und zeitlich stark ausgedehnter Quellen interessiert. Wir entwickeln einen Code, der speziell auf unsere Bedürfnisse ausgerichtet ist. Dazu zählen im speziellen die Berechnung sehr lange Zeitreihen, Integration von Punktkräften über synthetische und reale Bathymetrien und sowohl getrennte als auch kombinierte Betrachtung von Rayleigh- und Lovewellen. Der Ansatz der Modensummentation erlaubt die Berechnung auf den für uns relevanten Teil des Spektrums einzuschränken.

Wir zeigen Vergleichsrechnungen unserer Software mit etablierten Tools und erste Beispiele der Anregung langperiodischer Oberflächenwellen durch Interaktion von Seegang und Bathymetrie.

## Seismologie SO-4.003

### *Evidence of absence of PP precursors*

**Lessing, S.<sup>1</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>, Saki, M.<sup>1</sup>, Schmerr, N.C.<sup>2</sup>, Vanacore, E.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Department of Geology, University of Maryland College Park, College Park, MD, USA, <sup>3</sup>School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, UK

PP and SS underside reflections off upper mantle discontinuities are frequently used to map discontinuity topography, impedance contrasts and interpret these with respect to thermal and/or mineralogical variations. While the seismic discontinuities at 410 km and 660 km depth should be a global feature, several events show no evidence for the precursors and many events show smaller amplitudes for observed precursors. We investigate several possible causes that could be responsible for these apparently absent precursors. Source and attenuation effects are unlikely candidates, there is also little evidence for deviations off the theoretical travel path. Factors that have stronger influence are the stacking procedures in the presence of large, interfering phases, topography on the discontinuities and the velocity and density changes with depth across the transition zone. We can fit the observed small precursor amplitudes better with a model using a pyrolite composition since it produces a wide minimum in the reflection coefficients compared with other Earth models and therefore reduces amplitudes of the PP and SS precursors. To suppress the precursors entirely for some events, some of the other effects, such as topography and processing are necessary in addition to the changed velocity model.

## Seismologie SO-4.004

*Pamir meets Tien Shan: the complex faulting during the 2008 Nura earthquake (Kyrgyzstan) revealed by InSAR (Interferometric Synthetic Aperture RADAR) data analysis*

**Sudhaus, H.<sup>1</sup>, Teshebaeva, K.<sup>2</sup>, Echtler, H.<sup>2</sup>, Schurr, B.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Sektion 1.4 Fernerkundung, Helmholtzzentrum Potsdam GFZ, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Sektion 3.1 Dynamik der Lithosphäre, Helmholtzzentrum Potsdam GFZ, Potsdam, Deutschland

The NS-oriented crustal shortening across the Pamir and Tien Shan mountains is strongly concentrating near the arcuate Main Pamir Thrust accompanied by strong seismic activity. At the triple junction of Kyrgyzstan, China and Tajikistan the valleys between Pamir and Tien Shan that are extending from the Tajik basin in the West and the Tarim basin in the East have been closed and the two orogenes are actually touching. On the 5th October in 2008 a M6.6 earthquake struck the place, which is already the third large earthquake in the region within the last 50 years. According to seismic data analyses the source of the Nura earthquake ruptured the Pamir Frontal thrust and was very shallow with only 4 kilometers source depth, and it had an East-West striking thrust mechanism.

Due to the remote mountainous location at political borders is the area around Nura tectonically not well studied. To gain more insights here from the recent seismic activity we study the Nura earthquake in more detail by using SAR data from the ALOS (L-band) and ENVISAT (C-band) satellites for measurements of the co-seismic surface displacement. We used two different displacement measurement techniques, pixel offset measurements between the pairs of SAR images and SAR interferometry, and could retrieve a surface displacement map sufficiently covering in the footwall of the Pamir Frontal Thrust. Here, north of the Pamir Frontal Thrust, we detected clear surface rupture along several kilometers, which was unknown before. This fault trace, which was verified in the field later on, is oriented southwest-northeast and has a decimeter large fault offset of oblique thrust. This observation is pointing to a co-seismic activation of faults in the footwall of the Pamir during a predominantly EW-oriented thrust earthquake at the orogene's frontal thrust fault.

We used elastic dislocation modelling to infer a plausible fault structure for the segments activated by the Nura earthquake. Our results point to complex faulting during the coseismic activation of an orogenic frontal wedge, where the presence of evaporite-rich sediments plays an important role. Furthermore, this orogenic wedge marks a new front for the Pamir, located farther north than known so far.

## Seismologie SO-5.001

*Volcanoes, geysers, and hydrothermal reservoirs triggered by earthquakes*

**Walter, T.R.\***

GFZ Potsdam, Potsdam, Deutschland

Evidences are increasing that tectonic earthquakes may trigger volcanic activity. Some volcanoes erupt immediately after a tectonic earthquake occurred. Other volcanoes merely show signs of unrest, but no eruption. Still other volcanoes show no response, even though they are in a state of a generally high activity. The problem in volcano-earthquake interaction research is that the physical processes of the triggering are only poorly understood. Some recent studies suggest a combination of (quasi)static and dynamic triggering, associated with permanent crustal strain or the short term passing of seismic waves, respectively. However, no consensus exists concerning the type of waveform most effective for the triggering process, or about the time delays often observed between the passage of the seismic waves and unrest occurrence. In order to better understand the way earthquakes may trigger volcanoes, we first collected empirical data and re-evaluate the empirical database. Second, we designed laboratory experiments to simulate selected real scenarios as recorded by geophysical instruments. Our analog reservoir is situated on an earthquake simulator, constructed to allow systematic exploration and scenario simulation of empirical observables. For instance, we evaluate how the frequency and amplitude of seismic waves affects a bubbling fluid, leading to fluid mobilization, mixing and ultimately to the increase of a reservoir pressure. The implications of the results are wide, and may apply to volcanoes triggered by earthquakes, as well as other fluid reservoirs containing different fluids and/or gaseous phases.

## Seismologie SO-5.002

### *Subkrustale Seismizität in der Osteifel*

**Stange, S.<sup>\*1</sup>, Kurrle, D.<sup>1</sup>, Dahm, T.<sup>2</sup>, Hinzen, K.-G.<sup>3</sup>, Lehmann, K.<sup>4</sup>, Ritter, J.R.R.<sup>5</sup>, Schmidt, B.<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Regierungspräsidium Freiburg, Landeserdbebendienst, Freiburg, Deutschland, <sup>2</sup>GFZ Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Universität zu Köln, Erdbebenstation Bensberg, Bergisch-Gladbach, Deutschland,

<sup>4</sup>Geologischer Dienst NRW, Krefeld, Deutschland, <sup>5</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>6</sup>Landesamt für Geologie und Bergbau, Landeserdbebendienst, Mainz, Deutschland

Im September 2013 wurden bei Ochtendung in der Osteifel, etwa 10 km südwestlich des Laacher Sees, zwei seismische Ereignisse bisher unbekannten Typs registriert. Die Magnituden lagen bei  $ML=0.9$  und  $ML=0.7$ . Verschiedene unabhängige Lokalisierungen ergaben für die Herdtiefen Werte zwischen 40 km und 45 km. Dies sind somit zwei der wenigen nachgewiesenen Ereignisse in der Eifel mit einem Hypozentrum im oberen Mantel. Im Vergleich zu den in derselben Region häufiger stattfindenden Erdbeben in der oberen Erdkruste weisen diese tiefen Ereignisse deutlich tief-frequenter Signale auf.

Mittels Kreuzkorrelation wurden die verfügbaren Daten einiger herdnaher Stationen nach weiteren Ereignissen durchsucht. Im Zeitraum Mai 2012 bis November 2013 (Stand Ende 2013) konnten keine weiteren Ereignisse dieses Typs detektiert werden.

Verschiedene Untersuchungen haben Hinweise darauf geliefert, dass in der Eifel wegen eines Mantelplumes erniedrigte seismische Geschwindigkeiten und erhöhte Temperaturen bzw. Schmelzanteile im oberen Erdmantel vorliegen (Ritter, 2007). Es erscheint daher fraglich, ob die beobachteten tiefen Erdbeben durch Scherbrüche ausgelöst worden sein können. Eine mögliche Erklärung könnten hingegen Fluidbewegungen sein, etwa Instabilitäten im oberen Bereich eines Magmareservoirs. Sind die hierbei im umliegenden Gestein erzeugten Spannungen groß genug, können sie in Form von Erdbeben abgebaut werden. Hierfür spricht, dass die ermittelten Herdtiefen in etwa der Lage des Lithosphären-Asthenosphären-Übergangs bei rund 40 km entsprechen (Seiberlich et al., 2013).

Aufgrund der geringen Magnituden ist eine Bestimmung der Herdmechanismen schwierig. Ein Zusammenhang mit der in der Eifel nach wie vor vorhandenen vulkanischen Aktivität erscheint jedoch möglich.

Ritter, J.R.R.: The seismic signature of the Eifel plume. In: Ritter, J.R.R. & Christensen, U.R. (eds.), *Mantle Plumes -- A Multidisciplinary Approach*, Springer Verlag, Heidelberg, 2007.

Seiberlich, C.A., Ritter, J.R.R. & Wawerzinek, B.: Topography of the lithosphere-asthenosphere boundary below the Upper Rhine Graben Rift and the volcanic Eifel region, Central Europe. *Tectonophysics*, 603, 222-236, 2013.

## Seismologie SO-5.003

### *Earthquake stress drop variability in Japan*

**Oth, A.\***

European Center for Geodynamics and Seismology, Walferdange, Luxemburg

Stress drop is one of the key parameters characterizing the earthquake source process and therefore also a fundamental input parameter for ground motion prediction. However, at the same time, stress drop is difficult to accurately determine. Stress drop estimates are commonly derived from corner frequencies of earthquake source spectra, and these estimates carry large uncertainties because stress drop depends on corner frequency cubed. Large earthquake populations usually show stress drop variations as large as three orders of magnitude. Assuming such a large range of stress drop variations leads to very large ground motion variability solely as a result of the source process, notwithstanding any variability due to propagation and site effects. For this reason, it is of utmost importance to better understand what factors underlie the observed variability.

Here I use a unique dataset from Japan encompassing earthquakes of a wide magnitude range and spatial coverage to show that stress release variations of crustal earthquakes are strongly correlated with heat flow variations, indicating that they are thermally controlled. In contrast, subcrustal events depict highest stress release in regions of strong subduction-interface coupling and overall less pronounced variability as compared with crustal earthquakes. Stress release is overall only weakly dependent on earthquake size, but

at local scales (i.e., within individual earthquake sequences) the dependence can be very strong and seems to vary with stress regime. Accounting for these systematic variations reduces the stress release variability on local scale by a factor of two to three as compared with the full earthquake population. This finding indicates that the usage of regionally appropriate stress drop values and scaling parameters holds the potential to significantly reduce ground motion prediction uncertainties.

## **Seismologie SO-5.004**

### *Der nordkoreanische Nukleartest im Februar 2013*

**Bönnemann, C.\*, Ceranna, L., Hartmann, G., Roß, J.O.**

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Der mutmaßlich dritte Nukleartest Nordkoreas wurde am 12. Februar 2013 mit den seismologischen Stationen des internationalen Überwachungssystems (IMS) der Kernwaffenteststopp-Organisation (CTBTO) in Wien weltweit registriert. Unter Einbeziehung zusätzlicher regionaler Stationen kann der Explosionsort mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Die seismischen Signale der Ereignisse von 2006, 2009 und 2013 weisen eine sehr hohe zeitliche Korrelation auf, die den gleichen Quellort bestätigen. Anhand der Ausprägung der unterschiedlichen seismischen Wellenphasen und aus der Verteilung des spektralen Energiegehalts der Wellengruppen kann dieses Ereignis im Vergleich mit tektonischen Beben sicher als Explosion identifiziert werden. Die Abschätzung der Sprengkraft der Explosion 2013 ist jedoch mit großer Unsicherheit behaftet, da für das Testgebiet keine kalibrierte Magnitude-Ladungsstärke-Beziehung bekannt ist. Im Vergleich ergibt sich aber eine etwa 2,5-mal größere Ladungsstärke als für den Nukleartest 2009.

Da in Nordkorea keine Vor-Ort-Messungen möglich sind, kann der nukleare Charakter der Explosion nur durch den Nachweis von atmosphärisch transportierten Radionukliden, insbesondere Xenon, belegt werden. So wurde der erste nordkoreanischen Nukleartest 2006 durch derartige Messungen spezifischer Xenonisotope nachgewiesen. Nach dem zweiten Test 2009 blieben diese jedoch Detektionen aus und es wird von einem vollständigen Einschluss der Spaltprodukte ausgegangen. Auch 2013 gab es anfänglich keine direkt auf die Explosion folgenden Detektionen, die auf eine unmittelbare Freisetzung am nordkoreanischen Testgelände zurückzuführen waren. Nach wenigen Tagen gab es in Japan Messungen von Xenon-Aktivitätskonzentrationen knapp über der Nachweisgrenze, die gemäß der meteorologischen Ausbreitungssituation zwar hypothetisch aus Nordkorea stammen können, aber den üblichen Hintergrundkonzentrationen entsprechen, wie sie von kerntechnischen Anlagen insbesondere zur Produktion von Radioisotopen für medizinische Zwecke permanent verursacht werden. Erst nach 55 Tagen Mitte April 2013 gab es deutliche Detektionen an der japanischen Station, die in Höhe und Isotopenzusammensetzung absolut untypisch und gemäß der Zerfallsberechnung der Isotopenverhältnisse zum Explosionszeitpunkt passend waren und somit einen eindeutigen Beweis für den Atomtest liefern.

## **Seismologie SO-5.005**

### *Signifikante Scherwellenabstrahlung des nordkoreanischen Atomtests vom 12. Februar 2013*

**Barth, A.\***

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Am 12. Februar 2013 führte die Demokratische Volksrepublik Korea nach 2006 und 2009 ihren dritten Atomwaffentest durch. Um Explosionen von tektonischen Erdbeben zu unterscheiden, sind seismische Wellenformen eine wichtige Informationsquelle. In dieser Studie werden langperiodische ( $T=25-70$  s) seismische Wellen regionaler Seismometerstationen invertiert, um den vollen Momententensor zu berechnen und damit den isotropen (explosiven) und den anisotropen Anteil der Detonation zu untersuchen. Während der isotrope Teil der seismischen Quelle ein wichtiger Parameter zur Diskriminierung von einem Erdbeben darstellt, können mit Hilfe des anisotropen Teils Hinweise zu Eindämmungsvorkehrungen oder quellenahen Auswirkungen gewonnen werden. Da die für diese Berechnung notwendigen Scherwellen nicht nur von der Quelle sondern auch von Wellenkonversionen an Heterogenitäten im Untergrund herrühren können, werden hier zur Anpassung der beobachteten Seismogramme synthetische Wellenformen mit einem 3-dimensionalen Erdmodell berechnet.

Die Momententensorinversion ergibt wie zu erwarten einen deutlichen explosiven Anteil der seismischen Quelle, der kombiniert ist mit einem signifikanten double-couple (DC) Anteil des Momententensors, der aus einer erhöhten Scherwellenabstrahlung resultiert. Im Gegensatz dazu zeigte der nordkoreanische Atomtest von 2009 bei gleicher Quellregion einen deutlich kleineren DC-Anteil im seismischen Herdmechanismus. Verschiedene Möglichkeiten für diese Änderung werden diskutiert und in Zusammenhang mit dem vorherrschenden tektonischen Regime und der lokalen Eindämmung des Tests gestellt.

## Seismologie SO-6.001

### *Seismische Anisotropie in der Subduktionszone der Zentralanden: Graben-parallele schnelle Polarisation durch Krusteneinflüsse*

**Wölbern, I.\*, Löbl, U., Rümpker, G.**

Goethe-Universität Frankfurt, Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

Die seismische Anisotropie zeigt im Bereich von Subduktionszonen oftmals eine Ausrichtung der schnellen Polarisationsachse parallel zum Grabenverlauf und steht somit im Gegensatz zur erwarteten Ausrichtung der schnellen Achse des anisotropen Olivin parallel zur Richtung der Subduktionsbewegung. In der Subduktionszone der Zentralanden wurde diese Beobachtung früher bereits als graben-parallele Komponente des Mantelflusses unterhalb der abtauchenden Platte aufgrund von Slab-Rollback interpretiert. Um ein detaillierteres Abbild der dynamischen Prozesse im Erdinneren zu erhalten, untersuchen wir die Polarisation der schnellen Welle entlang zweier nahezu parallel zur Subduktionsrichtung verlaufender Profile durch das Altiplano- bzw. Puna-Plateau in den Zentralanden. Zu diesem Zweck analysieren wir SKS-Phasen sowie S-Phasen lokaler Slab-Erdbeben. Neben der etablierten Einzelbeben-Analyse verwenden wir ein Joint-Splitting-Verfahren zur simultanen Analyse verschiedener Bebenereignisse an einer Station. Im Gegensatz zu einer früheren Studie zeigen unsere SKS-Ergebnisse vorrangig schnelle Polarisationen in Ost-West-Richtung etwa parallel zur Subduktionsbewegung der Nazca-Platte mit Verzögerungszeiten zwischen 0,3 und 1,2 Sekunden. S-Phasen der Slab-Erdbeben weisen eine größere Streuung der schnellen Polarisationsrichtung mit Verzögerungszeiten zwischen 0,1 und 1,1 Sekunden. Eher Nord-Süd ausgerichtete schnelle Polarisationen werden dagegen in scharf abgegrenzten Abschnitten der Profile beobachtet, in denen zugleich die größten Verzögerungszeiten festgestellt werden.

Mithilfe einer Reihe von FD-Wellenform-Modellierungen untersuchen wir den Einfluss verschiedener anisotroper Schichten und Blöcke innerhalb der Subduktionszone. Aus dem Vergleich synthetisch erzeugter Daten mit den gemessenen Ergebnissen schließen wir, dass das beobachtete Scherwellensplitting im Messgebiet primär auf fossile Slab-Anisotropie mit einer Ausrichtung der schnellen Achse in Bewegungsrichtung der Nazca-Platte zurückzuführen ist. Die beobachteten begrenzten Anomalien sind durch abrupte Änderung der Polarisationsrichtungen gekennzeichnet, die einer tiefen Ursprungsregion widersprechen. Vielmehr deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass diese Anomalien in der kontinentalen Kruste entstehen und möglicherweise mit den Orientierungen der dominierenden Störungszonen in Verbindung stehen.

## Seismologie SO-6.002

### *S receiver function observations of flat Laramide subduction in the western US and lithospheric delamination in the Yellowstone volcanic region*

**Kind, R.\*, Sodoudi, F., Yuan, X.**

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

We used more than 40.000 visually picked S receiver functions recorded by the USArray to visualize the upper mantle structure below the north-western part of the United States from the Moho down to the 410 km discontinuity. We observed a continuous negative discontinuity reaching from the Pacific coast to the Midcontinental Rift System (MCRS). Its depth is near 100km at the coast and near 200km at the MCRS. We interpret this structure as LAB of the flat subducting Laramide slab. The Laramide slab is disrupted in the greater region of the Yellowstone volcanisms by a west dipping negative structure reaching also down to about 200km. We suggest that this structure could be caused by confined delamination of parts of the Laramide slab. To the east of the Laramide slab we observe two negative discontinuities at 100 and 200km

depth with locally varying strength. We need to wait for data from the USArray project to study possible connections to the Grenville or Appalachian Orogens. We conclude that fossil subduction is a significant part of the structure of the cratonic lithosphere. Near the depth of 300km we observed a more scattered positive discontinuity which we interpret as base of the asthenosphere or Lehmann discontinuity. The 410km discontinuity is also well observed. About 50km above the 410 we see a large scale negative discontinuity which is probably caused by partial melt and it is also known from other regions around the globe. There is no large scale distortion of the discontinuities below the LAB in the greater Yellowstone region, which could speak for a relatively shallow volcanic source.

## Seismologie SO-6.003

### *Downhole Seismic Monitoring in the Istanbul/Eastern Sea of Marmara Region: Recent Results from the ICDP-GONAF Project*

**Bohnhoff, M.<sup>1</sup>, Dresen, G.<sup>1</sup>, Bulut, F.<sup>1</sup>, Raub, C.<sup>1</sup>, Kilic, T.<sup>2</sup>, Kartal, R.F.<sup>2</sup>, Kadirouglu, F.T.<sup>2</sup>, Nurlu, M.<sup>2</sup>, Malin, P.E.<sup>3</sup>, Ito, H.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>AFAD, Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department, Ankara, Türkei, <sup>3</sup>Institute of Earth Science and Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand., Auckland, Neuseeland, <sup>4</sup>Jamstec, Center for Deep Earth Exploration (CDEX), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan., Tokyo, Japan

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) below the Sea of Marmara represents a 'seismic gap' where a major earthquake is expected to occur in the near future. The Marmara segment of the NAFZ is located between the 1912 Ganos and 1999 Izmit ruptures and is the only segment that has not ruptured since 1766. The ICDP-GONAF project (Geophysical Observatory at the North Anatolian Fault; [www.gonaf.de](http://www.gonaf.de)) involves the installation of a high-resolution borehole seismic observatory at the NAFZ consisting of several 300m deep vertical boreholes in the broader Istanbul / eastern Sea of Marmara region to monitor the Princes Islands segment at the transition from the 'seismic gap' to the recent 1999 Izmit rupture. GONAF is an international collaboration and co-funded by the International Continental Scientific Drilling Programme (ICDP), GFZ Potsdam and the Disaster and Emergency Management Presidency in Ankara/Turkey (AFAD). Further principal partners are IESE/New Zealand, JAMSTEC/Japan, MIT and UNAVCO/both US,. The principal scientific objective of GONAF is to study physical processes acting before, during and after the expected M>7 earthquake along the Princes Islands segment by long-term monitoring microseismic activity at significantly reduced magnitude detection threshold and improved hypocentral resolution. By the end of 2013 three GONAF borehole were successfully implemented and arrays of borehole seismometers were installed for permanent operation. Vertical 1Hz seismometers at 75m spacing as well as several different 3-component borehole seismometers at 300m depth are installed and are completed by a set of surface sensors. The benefit of seismic waveforms recorded at depth in a low-noise environment is shown and first results of microseismic activity along the Princes Islands segment are presented and will be discussed in the seismotectonic context.

## Seismologie SO-6.004

### *Lokalisierung des Außergewöhnlichen mittels 3D Echtzeit-Visualisierung*

**Eisermann, A.\*, Joswig, M.**

Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland

Die Analyse von Kleinstbeben liefert wichtige Erkenntnisse zur Dynamik des oberflächennahen Raumes. So indizieren Impaktereignisse die Ausdehnung von Sinkholes, Slidequakes Destabilisationsprozesse in Hängen, und schwache Aftershocks von  $M_L$ -2/-3 vorherig aktive Zonen in OSI Kampagnen. Neben diesen tritt jedoch eine Vielzahl von Signalen anderen Ursprungs auf, die zuvor identifiziert und aus dem Datensatz eliminiert werden müssen. Beginnend bei alltäglichen anthropogenen Rauschquellen wie Autos, Zügen, Pumpen und Sprengleranlagen, erstrecken sich diese Ereignisse über Explosionen, Minen- und Gebäudekollapse, durch Flugzeugabstürze hervorgerufene Impaktereignisse, bis hin zur Kollision von Eisbergen. Oft liegen diese Ereignisse außerhalb des Fokus' des Netzwerks und zeichnen sich durch nur schwache Signaturen aus, wodurch sie meist auf nur wenigen Stationen identifizierbar sind. Die Lokalisierung stellt ein wichtiges Indiz für die Klassifizierung der Ereignisse bereit, wird aber durch den Umstand nur weniger Daten, maskierter Signale, uneindeutiger Phaseneinsätze und dem Fehlen von S-Phasen erschwert, so dass die Verwendung von  $L_2$ -Minimierenden Residuenverfahren oft problematisch ist. Die Nutzung von Kleinarrays zur Signalerfassung, Sonogramanalysen in der Signaldetektion, und einem interaktiven, auf graphischen Jackknifing beruhenden Lokalisierungsschema ermöglicht die Ortung und Klassifizierung solcher Ereignisse. Das in HypoLine verwendete Ortungsschema basiert auf interaktiv graphischer Evaluierung mathematischer Körper wie unetstetiger Sphero- und Hyperboloide, die als Lokalisierungsbedingungen paarweise aus  $t^S$ - $t^P$  und  $t^P_{Station1}$ - $t^P_{Station2}$  Observablen gebildet werden, und die Auswirkung jeder Parameteränderung auf die Lösung direkt aufzeigen. Die in Echtzeit berechneten Lokalisierungsbedingungen werden im Vollraum in ihrer, durch die Ungenauigkeit der Phaseneinsätze und Geschwindigkeitsmodelle gegebenen Unschärfe abgebildet und erlauben dadurch eine akkuratere Lokalisierung. Durch die Trennung von rechenzeitaufwendigen und einfachen Operationen erlaubt dieser Ansatz die Verwendung von 3dim. Stationsverteilungen, komplexen Geschwindigkeitsmodellen, probabilistischen Lokalisierungsbedingungen und eröffnet dem Analysten neuen Einblick in den meist verborgenen Lösungsraum. An Hand forensischer Ereignisse wie Meteoriteneinschlägen, Uboots-, Bergwerks- und Gebäudeexplosionen soll die Methodik verdeutlicht und beobachtete Effekte aufgezeigt werden.

## Seismologie SO-7.001

### *Zur Mechanik fluid-induzierter Mikrobeben im Raum Landau, Südpfalz*

**Ritter, J.\*, Frietsch, M., Gassner, L., Groos, J.C., Grund, M., Zeiß, J.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Seit 2006 treten im Raum Landau in der Südpfalz mikroseismische Ereignisse auf ( $M_L < 2,9$ ), die durch die Injektion von Fluiden verursacht werden. Im Rahmen des MAGS Projekts wurden diese Ereignisse mit einem dichten Stationsnetz gemessen und die Registrierungen ausgewertet. Die komplexe geologische 3-D Struktur erschwert die Anwendung von 1-D Verfahren und es wurden entsprechende Tests und 3-D Wellenfeld-Simulationen durchgeführt. Mit einem Kreuzkorrelationsalgorithmus wurden ca. 1300 Ereignisse identifiziert, obwohl die Amplituden sehr klein sind und im Untersuchungsgebiet ein hoher Störpegel vorliegt. Ein Teil dieser Beben konnte lokalisiert werden, wobei für die Bestimmung der absoluten Hypozentralparameter HYPOSAT und für relative Lokalisierungen hypoDD verwendet wurde. Diese Hypozentren reihen sich entlang diskreter Zonen, die als bevorzugte Bruchflächen angesehen werden. Herdflächenlösungen mit FOCMEC zeigen, dass bevorzugt Abschiebungen mit Blattverschiebungskomponenten aktiv sind. Als vorherrschende Richtung für die Bruchflächen wird NNW-SSO angesehen, was mit dem bekannten lokalen Spannungsfeld gut erklärt werden kann. Analysen der seismischen Scherwellen-Anisotropie zeigen eine schnelle Ausbreitung in NNW-SSO Richtung und langsame Ausbreitung in OSO-WSW Richtung. Dies kann mit fluid-gefüllten Klüften mit Vorzugsrichtung NNW-SSO erklärt werden und korreliert mit bekannten lokalen tektonischen Strukturen.

Das Verbundprojekt MAGS -Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ 0325191A-F) und betreut vom Projektträger Jülich.



## Seismologie SO-7.002

### *Seismisches Monitoring im nördlichen Oberrheingraben - Die Projekte SiMoN und FERRY* **Homuth, B.<sup>\*1</sup>, Lindenfeld, M.<sup>1</sup>, Winter, H.<sup>1</sup>, Rümpler, G.<sup>1</sup>, Kracht, M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Goethe Universität Frankfurt, Geowissenschaften, Frankfurt, Deutschland, <sup>2</sup>Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden, Deutschland

Die Seismizität des nördlichen Oberrheingrabens ist aufgrund seines Potentials für die geothermische Nutzung und der damit möglicherweise verbundenen seismischen Risiken von aktuellem Interesse. Untersuchungen zur natürlichen Seismizität sind ein Hauptbestandteil des BMU-Projektes SiMoN (Seismisches Monitoring im Zusammenhang mit der geothermischen Nutzung des Nördlichen Oberrheingrabens). Aufzeichnungen eines Netzwerkes aus 13 seismischen Stationen dienen als Datengrundlage zur Charakterisierung der Seismizität innerhalb eines etwa 50 km<sup>2</sup> großen Areal im dichtbesiedelten Rhein-Main Gebiet. Seit Beginn der Datenaufzeichnung (November 2010) konnten 64 Erdbeben im unmittelbaren Bereich des Stationsnetzwerkes lokalisiert werden; diese weisen Magnituden im Bereich zwischen  $M_L = 0,5$  und  $M_L = 3,2$  auf. Die Erdbeben erstrecken sich bis in eine Tiefe von 24 km mit einem Maximum der hypozentralen Tiefenverteilung im Bereich von 9 bis 18 km. Herdflächenlösungen weisen überwiegend Strike-slip Mechanismen auf; Auf- und Abschiebungen spielen nur eine untergeordnete Rolle. Eine Inversion der Herdflächenlösungen liefert für die maximale horizontale Spannung eine Ausrichtung von N135°E. Aufgrund der Rauschbedingungen im Rhein-Main-Gebiet soll das SiMoN-Netzwerk in Zukunft um mehrere Bohrlochmessstationen erweitert werden. Ein weiteres Projekt im Zusammenhang mit der geothermischen Nutzung des nördlichen Oberrheingrabens ist das im Juni 2013 gestartete BMU-Projekt FERRY (Seismische Fernüberwachung geothermischer Kraftwerke mittels Arraytechnologien). Dabei soll ein seismisches Array auf dem Areal des Taunus Observatoriums errichtet werden. Aufgrund seiner Abgelegenheit bietet dieser Ort gute Voraussetzungen, um auch relativ schwache Beben im Rhein-Main Gebiet detektieren und lokalisieren zu können. Ziel ist ein von den Kraftwerksbetreibern unabhängiges seismisches Monitoring geothermischer Anlagen von zentraler Stelle aus. Mit Hilfe eines Testarrays werden zunächst Korrelationsanalysen von seismischen Signalen und der Bodenunruhe durchgeführt. Durch eine Anpassung der Arraygeometrie an die Charakteristiken der jeweiligen Wellenfelder soll das Signal/Rausch-Verhältnis optimiert werden. Zusätzlich werden zur Kalibrierung des Arrays die Aufzeichnungen mobiler seismischer Stationen im nördlichen Oberrheingraben eingesetzt. Eine erste Messkampagne wurde im Bereich der Erdölbohrung Crumstadt gestartet. Wir präsentieren die Ergebnisse der angesprochenen Untersuchungen.

## Seismologie SO-7.003

### *Clusteranalyse von Mikroerdbeben mittels Wellenformähnlichkeit im Bereich von Landau und Insheim, Südpfalz*

**Grund, M.<sup>\*</sup>, Groos, J.C., Ritter, J.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Im Rahmen des BMU-geförderten Projektes MAGS wurden im Bereich zweier tiefer geothermischer Anlagen bei Landau und Insheim in der Südpfalz mittels eines Kreuzkorrelationsalgorithmus über 1900 induzierte mikroseismische Ereignisse ( $M_L < 2$ ) detektiert. Bereits bei der visuellen Kontrolle der Detektionen konnten hierbei Ereignisgruppen mit sehr hoher Wellenformähnlichkeit beobachtet werden. Aufgrund des starken seismischen Rauschens im Oberrheingraben musste eine Ähnlichkeitsanalyse entwickelt werden, die das insgesamt niedrige Signal-Rausch-Verhältnis der seismischen Zeitreihen (2-20 Hz) in Form einer Gewichtung berücksichtigt. Für Daten im Zeitraum 2006 bis 2013 lieferte die Analyse teilweise Ereignisse mit nahezu identischer Wellenform im Frequenzbereich von 2-20 Hz. Die hohe Wellenformähnlichkeit besteht dabei über drei Magnitudeneinheiten (ca.  $M_L -0,7$  bis 2,7) hinweg und tritt über kurze (Sekunden bis Tage) wie auch lange (Jahre) Zeiträume wiederkehrend auf. Die Ergebnisse der Ähnlichkeitsanalyse dienen als Grundlage für eine Clusteranalyse mittels Äquivalenzklassenansatz. Mit dieser Klassifizierung konnte eine große Anzahl der Ereignisse unterschiedlichen Clustern zugeordnet werden. Diese Cluster decken sich für einige Ereignisse bzgl. deren Lokalisierungen und Herdflächenlösungen.

Das Verbundprojekt MAGS - Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund wurde finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ 0325191A-F) und betreut vom Projektträger Jülich.

## Seismologie SO-7.004

### *3D Finite-Differenzen Modellierung von mikroseismischen Ereignissen im Bereich Landau* **Gaßner, L.\*, Bohlen, T., Gottschämmer, E., Ritter, J.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Die Lokalisierung und Herdflächenanalyse von mikroseismischen Ereignissen basiert in der Regel auf 1-D Tiefenmodellen der Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Zur Untersuchung der Auswirkungen von 3-D geologischen Strukturen in der Oberkruste im Bereich des nördlichen Oberrheingrabens wird mit dem Finite-Differenzen Code SOFI3D die Simulation von mikroseismischen Ereignissen im Frequenzbereich 0-10 Hz durchgeführt.

Es werden seismologische Messdaten des MAGS-Projekts (MAGS - Konzepte zur Begrenzung der Mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung Geothermischer Systeme im tiefen Untergrund) aus der Region Landau für einen Wellenformvergleich herangezogen. Lokalisierungen und Herdflächenlösungen wurden im Verlauf des Projektes ermittelt und werden zur Beschreibung der Quellen verwendet. Auf Grund der komplexen Geologie sind die bestimmten Herdparameter nur bedingt verlässlich. Aus geologischen Daten des EU-Projektes GeORG wird ein 3-D Untergrundmodell erstellt, das die komplexe Schollenstruktur des Grabenbereiches bei Landau wiedergibt. Seismische Geschwindigkeiten werden aus lokalen Messungen im Bereich Landau abgeleitet. Es werden Simulationen für Modelle mit eindimensionalen und dreidimensionalen Strukturen durchgeführt, die einen Modellbereich von etwa 10 km mal 10 km mit einer Modelltiefe von 8 km abdecken. Das Erdbeben wird dabei als Punktquelle mit Schermechanismus in der Modellmitte betrachtet. Durch die geringen seismischen Geschwindigkeiten der Sedimentschichten ist eine räumliche Diskretisierung von 10 m notwendig. Die Modellierungen zeigen, dass sich 3-D Strukturen deutlich sowohl auf die Wellenformen als auch auf die zeitliche und räumliche Ausbreitung der elastischen Wellen auswirkt. Neben der Abstrahlcharakteristik der Mikrobeben trägt die 3-D Struktur wesentlich zur Verteilung der maximalen Amplituden der Bodenschwingungsgeschwindigkeit an der Oberfläche bei.

## Seismologie SO-8.001

### *Seismische Scherwellen-Anisotropie im zentralen Oberrheingraben* **Frietsch, M.\*, Groos, J.C., Ritter, J.R.R.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Seismische Scherwellen-Anisotropie wird anhand der Registrierungen von Mikroerdbeben in der Nähe von Landau im zentralen Oberrheingraben untersucht. Obwohl die Seismogramme ein niedriges Signal-Rausch-Verhältnis aufweisen und das Untersuchungsgebiet eine komplexe tektonische Struktur darstellt, kann eine signifikante Zeitdifferenz  $\delta t$  bis 0,1 s zwischen horizontal polarisierten SH-Wellen und vertikal polarisierten SV-Wellen beobachtet werden. Sowohl in den Zeitreihen der Radial- und Transversalkomponenten als auch in Hodogrammen der beiden Komponenten können Laufzeitunterschiede festgestellt werden. Die Beobachtungen können mit einem Modell für azimutale Anisotropie in der Oberkruste mit einem Winkel von  $\varphi_0 = 155^\circ$  (von Nord) für die schnelle Richtung der SV-Wellen erklärt werden. Der Modellierung der Anisotropie liegt der Gradient  $\delta t/x = 10$  ms/km für die Laufweglänge  $x$  im anisotropen Medium zugrunde. Dieses Modell lässt sich durch fluid-gefüllte Mikrokluft mit einer bevorzugten Ausrichtung in NNW-SSO interpretieren. Diese Richtung fällt mit der lokalen Orientierung der horizontalen Hauptspannung  $SH_{\max}$  zusammen. Die Förderung von Thermalwasser durch zwei Geothermiekraftwerke im Untersuchungsgebiet belegt das Vorkommen von Fluiden in der Tiefe. Die heterogene Untergrundstruktur mit den resultierenden lateralen seismischen Geschwindigkeitsvariationen hat einen viel größeren Einfluss auf die Genauigkeit der Lokalisierung der Mikrobeben im Vergleich zu den beobachteten Anisotropieeffekten im Untersuchungsgebiet. Dies wird an den bis zu fünfmal größeren Laufzeitresiduen (-0,5 s bis 0,35 s), die im Lokalisierungsprozess als Stationskorrektur dienen, im Vergleich zu den Laufzeitdifferenzen (bis 0,1 s) durch die anisotrope Scherwellenausbreitung deutlich.

Das Verbundprojekt MAGS -Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund wird finanziert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (FKZ 0325191A-F) und betreut vom Projektträger Jülich.

## Seismologie SO-8.002

### *Zeitliche Änderung des lokalen vp/vs Geschwindigkeitsverhältnisses in der initialen Phase von Erdbebenschwärmen im Vogtland / NW Böhmen*

**Dahm, T.<sup>\*1,2</sup>, Fischer, T.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, S2.1 Erdbeben und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland,

<sup>2</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Charles University of Prague, Czech Republic, Institute of Geophysics, Praha, Tschechische Republik

Krustale Erdbebenschwärme zeugen von lokalen, intensiven Bruchprozessen in einem kleinen Gesteinsvolumen über Zeiträume von Tagen bis Monaten. Häufig wird die lokal und zeitlich begrenzte Belastung des Gesteins mit der Bewegung von Fluiden oder Gas im Herdgebiet assoziiert, eventuell in Kombination mit bereits existierenden Schwächezonen im Untergrund: vp/vs kann dabei ungewöhnlich klein werden, wenn ein poröses oder stark gebrochenes Gesteinsvolumen mit gasähnlichen Fluiden saturiert ist.

Wir wenden eine Doppelte Differenzen Wadati Methode (z.B. Lin and Shearer, BSSA, 2007) auf mitteltiefe, krustale Bebenschwärme im Vogtland / NW Böhmen an, um die zeitlichen Änderungen von vp/vs zu erfassen (Dahm und Fischer, GJI, 2013). Während Mittelwerte von vp/vs über die gesamte Dauer eines Bebenschwarms konstant auf dem normalen Hintergrundwert bleiben, beobachten wir lokal im Herdvolumen des Schwarms stark erniedrigte Werte in der Anfangsphase der Aktivität, welche sich gegen Ende der Aktivität langsam wieder auf normales Niveau erholen.

Die temporären Erniedrigungen von vp/vs mit anschließender Erholung sind ein starker Hinweis auf die Anwesenheit von flüchtigen Fluidphasen zu Beginn des Erdbebenschwarms. Wir interpretieren diese Beobachtungen mit Hilfe von Biot-Gassman Gleichungen und übersättigten Fluiden, welche in der initialen Phase des Schwarms entgasen.

## Seismologie SO-8.003

### *Seismische Überwachung norddeutscher Gasfelder - Detektionsschwelle und lokale Bodenunruhawerte*

**Schwaderer, U.<sup>\*1</sup>, Gester mann, N.<sup>2</sup>, Joswig, M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland, <sup>2</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

In Norddeutschland wird seit mehreren Jahrzehnten Erdgas aus konventionellen Lagerstätten gefördert. Das mehrfache Auftreten seismischer Ereignisse bei Rotenburg und Verden führte ab 2008 zum Aufbau eines bergschadenkundlichen Beweissicherungssystems (BBS) des Wirtschaftsverbands Erdöl- und Erdgasgewinnung (WEG). Das aktuell verbesserte, auf Bohrlochstationen umgerüstete WEG-Netz entspricht den geforderten Kriterien einer ab ML 2.0 erfolgenden Alarmmeldung an das NLFB sowie der Immissionsmessung nach DIN 4150 bei Erdbeben im diesem Gebiet. Das Gebiet wird ebenfalls durch Stationen der BGR regional überwacht, welches temporär von der Uni Potsdam verdichtet wurde. Zusätzlich wird von der Universität Stuttgart im Rahmen des DGMK Forschungsprojektes "Hochauflösende Überwachung und Analyse der Seismizität bei Rotenburg mit Vergleich von Überwachungskonzepten" für die nächsten Jahre ein kleinskaliges seismisches Netzwerk im Radius von ca. 8 km um Visselhövede errichtet. Die Stationssuche ergab starke lokale Variationen der Bodenunruhe binnen weniger Kilometer im Bereich von 230 nm/s bis > 1000 nm/s mit nach Osten abnehmender Tendenz. Seit Mitte November letzten Jahres sind als Vorstufe des Gesamtnetzes zwei 3-Komponenten-Stationen sowie ein Kleinarray in Probetrieb. Mittels gemeinsamer Analyse registrierter Beben durch die verschiedenen Netze und Betrachtung der lokalen Bodenunruhe lässt sich die zukünftige Qualität des DGMK Netzes abschätzen.

## Seismologie SO-8.004

### *Rupture Propagation Imaging on Microseismic Scale at the Basel EGS Site*

**Folesky, J.\*, Kummerow, J., Shapiro, S.A.**

Freie Universität Berlin, Geophysik, Berlin, Deutschland

Rupture propagation imaging is a fast developing field of research in global seismology. The rupture fronts of large ( $M > 7$ ) to megathrust ( $M > 8$ ) earthquakes are subject of multiple recent studies, like e.g. the 2004 Sumatra-Andaman earthquake or the 2011 Tohoku, Japan earthquake. The most prominent technique is to back project the seismograms recorded at an array or at a seismic network to a grid of possible source locations via a special stacking procedure. This method is called Back Projection and it provides information on the energy release and energy distribution of the rupture which can be used to find estimates of event properties like location, rupture direction, rupture speed or length. The procedure is fast and direct and as it only relies on a reasonable velocity model, it is a good way to rapidly estimate the rupture properties as well as to confirm event information from other analysis methods. We adopted the back projection technique and put it in a different context. We demonstrated its usage for multiple synthetic ruptures within a reservoir model of microseismic scale in earlier works. Our motivation hereby is the occurrence of relatively large, induced seismic events at a number of stimulated geothermal reservoirs or waste disposal sites, having magnitudes  $M_L \geq 3.4$  and yielding rupture lengths of several hundred meters. We use the configuration of the seismic network and reservoir properties of the Basel Geothermal Site to build a synthetic model of a rupture by modeling the wave field of multiple spatio-temporal separated single sources using Finite-Difference modeling. The focus of this work is the application of the Back Projection technique and the demonstration of its feasibility to retrieve the rupture properties of real microseismic events. We take four real events with local magnitudes from  $M_L$  3.1 to 3.4 and reconstruct source parameters like location, orientation and length. By comparison with our synthetic results as well as independent localization studies and source mechanism studies in this area we can show, that the obtained results are reasonable and that the application of back projection imaging is not only possible for microseismic datasets of respective quality, but that it provides important additional insights in the rupture process.

## Seismologie SO-8.005

### *Bestimmung rezenter Seismizität mittels Nanoseismic Monitoring in der westlichen Schwäbischen Alb*

**Mokelke, G.\*, Manfred, J.**

Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

Die westliche Schwäbische Alb ist eine der aktivsten Erdbebengebiete Südwestdeutschlands. In regelmäßigen Abständen werden dort vom Landeserdbebendienst Baden-Württemberg (LED) Erdbeben bis hinab zu einer Stärke von  $M_L \equiv 0.5$  registriert. Das letzte stärkere Beben mit einer Magnitude von 2.9 wurde am 4. Dezember 2013 bei Hechingen registriert. Im Rahmen einer Studie zur Bestimmung der Vollständigkeitsmagnituden im Erdbebenkatalog des Landesgebiet Baden-Württembergs wurde vom Institut für Geophysik (Universität Stuttgart) von Ende Juni bis Anfang Juli 2013 eine 9-tägige Testmessung der seismischen Aktivität im Gebiet von Albstadt-Ebingen (westliche Schwäbische Alb) durchgeführt. Es kamen drei Kleinarrays mit je einer Zentralstation (3-Komponenten; Z,W-E,N-S) und drei Außenstationen (1-Komponenten; Z) zum Einsatz. Durch die Unabhängigkeit vom konventionellen Stromnetz konnten wir Gebiete mit einer geringen Beeinflussung durch anthropogenen seismischen Noise aufsuchen. Dadurch sind wir mittels Nanoseismic Monitoring in der Lage, Kleinstbeben zu orten, die mit den Stationen der Erdbebendienste in der Regel nicht detektiert werden. Es konnten im Zeitraum 26. Juni bis 5. Juli 2013 über 200 seismische Ereignisse detektiert werden, wobei ein Großteil Steinbruchsprengungen war. Die Auswertung der restlichen 22 Ereignisse belegte ein stetiges Auftreten von Kleinstbeben  $M_L < -1.0$  im Gebiet der westlichen Schwäbischen Alb. Eine Extrapolation der gemessenen Beben auf einen Zeitraum von 16 Jahren zum Vergleich mit dem vom LED dokumentierten Zeitraum von 1996-2011 ergab gute Übereinstimmung für einen b-Wert von 0.82 der westlichen Schwäbischen Alb. Dieser Wert liegt unterhalb des Wertes von 1.07 ( $\pm 0.1$ ), der sich aus statistischer Analyse alleine der LED-Daten ergibt, wenn einzelne starke Beben wie jenes vom 22. März 2003 ( $M_L=4.4$ ) in der statistischen Gewichtung unterbewertet bleiben.

# SO Seismologie Poster

## Seismologie SO-P.001

### *Echtzeitbetrieb von stationären und mobilen Messstationen*

**Hanneken, M.\*, Wetzig, E., Stelling, U.**

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Um einen wartungsarmen Betrieb seismologischer Messstationen zu ermöglichen, wird am Seismologischen Zentralobservatorium der BGR ein einheitlicher Aufbau angestrebt. Da sich die Messstationen meistens in eher abgelegenen, ruhigen Regionen befinden, sind die Randbedingungen nicht immer einfach. Andererseits steigen die Anforderungen bezüglich der Zuverlässigkeit, der Datenverfügbarkeit in Echtzeit und eines möglichst wartungsfreien Betriebes immer weiter an. Dies gilt sowohl für die stationären GRSN-Stationen des "German Regional Seismic Network", als auch für die mobilen Messtationen, die beispielsweise bei spontanen Nachbebenmessungen zum Einsatz kommen. Trotz der rasanten technischen Entwicklungen auf dem Gebiet der Datenübertragung während der letzten Jahre ist die Anbindung der Stationen oftmals immer noch eine Herausforderung. Je nach Standort kommen unterschiedliche Übertragungstechniken wie ISDN, DSL, EDGE (2G), UMTS (3G), LTE (4G) oder Standleitungen zum Einsatz. Um einen einheitlichen Aufbau zu gewährleisten, werden Mobilfunk-Router eingesetzt, die alle genannten Technologien abdecken.

Ein Großteil der Ausfälle von Messstationen wurden durch Überspannungen und Blitzeinschläge verursacht. Neben dem Verlust von Daten war oft auch ein großer Sachschaden zu beklagen. Aus diesem Grunde wurde ein Überspannungsschutzkonzept nach dem "Single Entry Point"-Prinzip mit großem Erfolg umgesetzt. Da bei kurzfristigem Ausfall der Stromversorgung die Messgeräte über einen Akku weiter betrieben werden, ist eine weitestgehende unterbrechungsfreie Datenregistrierung gewährleistet. In allen umgerüsteten bzw. neu aufgebauten Stationen werden Geräte wie Router oder Datenerfassungsgeräte automatisch überwacht und bei Fehlfunktion neu gestartet. Der Zustand der Stationen wird permanent über ein hierfür entwickelte Monitoring-Software "Message Display" überwacht.

## Seismologie SO-P.002

### *Testing the Lower Thresholds of Broadband Seismometers*

**Rademacher, H., Guralp, C.\*, McGowan, M., Pearce, N.**

Guralp Systems Ltd., Aldermaston, UK

Properly testing broadband seismometers for self noise and other intrinsic parameters like cross axis rejection is not an easy task. On the one hand such tests are strongly affected by the seismic noise generated by the Earth itself. The intensity of this noise is usually much higher than the self noise of the sensor. In addition the Earth's noise not only varies in time but also at any given time across the passband of the sensors, usually between 100 sec and 100 Hz. In addition there exist only very few shake tables capable of generating movements precise and stable enough to test the lower thresholds of broadband sensors. The influence of seismic noise and poor shake tables may render testing information about the lower thresholds of broadband sensors meaningless. We have applied several new techniques and developed our own to improve the quality and validity of such tests, including designing and building our own precision one axis shake table. We will present results from these testing procedures, amongst them the determination that the cross axis rejection between the horizontal and the vertical components of Guralp CMG-3T broadband sensors regularly exceeds 80 dB.

## Seismologie SO-P.003

### *Sensitivity of modern broad-band seismometers at high frequencies - evaluation of a huddle test at BFO*

**Widmer-Schnidrig, R.\*<sup>1</sup>, Schwaderer, U.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>BFO, Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland, <sup>2</sup>Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland

For the detection of small seismic signals in the context of monitoring of induced seismicity two factors over which we have control are of importance: the sensitivities of the seismometer and the data acquisition system. By simultaneously operating several seismometers on a single pier and at a seismically quiet location we can estimate the self-noise of the seismometers. By recording the same seismometer signal on multiple channels of a data acquisition system we can estimate the self-noise of the digitizer (Sleeman et al, BSSA, 2006). We have tested current sensors from Nanometrics (TrilliumCompact and TrilliumCompact Posthole), Lennartz (LE3D/5s, LE3Dlite MkII, LE3Dlite MkIII) and Streckeisen (STS-2.5). The low-frequency corner period of these instruments is 1s for the LE3Dlite MkII and the LE3Dlite MkIII, 5s for the LE3D/5s and 120s for the Trillia, the STS-2 and the STS-2.5. As a reference at high frequencies we used a Johnson-Matheson classical electrodynamic vertical component seismometer and at low frequencies the permanently installed STS-1 and STS-2 VBB seismometers at BFO. The data acquisition systems tested are the Quanterra Q330HR, Nanometrics Centaur and the Lennartz M24. The Lennartz Le3Dlite MkII in connection with the Lennartz M24 digitizer is the only system that cannot resolve ground noise at BFO above the marine microseism peak. However, when the Le3Dlite MkII and Le3D/5s are recorded on a Centaur they can resolve ground noise up to 7Hz. Above 10Hz this system has ~10dB lower noise than the Le3D/M24 system. At high frequencies TrilliumCompact, TrilliumCompact Posthole and Lennartz LE3Dlite MkIII seem to perform equally well when recorded on a Centaur: they resolve BFO ground noise up to 10Hz and have 3dB lower noise above 10Hz than the LE3Dlite MkII/Centaur system. The Streckeisen STS-2 and STS-2.5 recorded on a Q330HR resolve ground noise at BFO up to ~30Hz. We find that their high frequency noise levels in the band 10-30Hz are ~6dB lower than the Trillium/Centaur systems. For all the inspected seismometers the instrument response is flat to ground velocity up to at least 30Hz. At higher frequencies the responses start to roll off and this part of the instrument responses is not well known. This is confirmed by comparing wave forms from nearby blows with a sledge hammer (15m distance).

## Seismologie SO-P.004

### *Ambient noise investigation in a German salt mine*

**Thiemann, K.\*<sup>1</sup>, Sens-Schönfelder, C.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>K-UTEC AG, Sondershausen, Deutschland, <sup>2</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland

Within the project MIIC - Monitoring and Imaging based on Interferometric Concepts which is part of the BMBF GEOTECHNOLOGIEN program we analysed continuous seismic data of almost 2 years recorded in a German salt mine. The data were recorded by a network consisting of 14 permanently installed stations in the mine and 2 on top of the mine with a sampling frequency of 1 kHz. The initial installation for monitoring of microseismic activity was augmented with an acquisition system for continuous recording. The goal of the investigation is to test the suitability of the installation for continuous monitoring of seismic wave velocity changes using seismic noise generated in and outside the mine. The spectral characteristics of the noise field varies significantly between the stations and is influenced by technical installations in the mine that cause persistent peaks as well as sweeping signals. Despite these unfavorable signals we can reconstruct ballistic waves propagating between the stations. Two distinct phases can be identified that we interpret as body and surface waves. The stability of the noise correlations suffers from the noise conditions and abrupt changes that we attribute to changes data transmission system or to sudden changes in the characteristics of individual sensors or their immediate environment. Thus some estimates velocity variations show abrupt signals that cannot be attributed to medium changes. Combining neighboring stations in different parts of the mine into groups allows to identify distinct trends that are coherent within the groups and possibly reflect the dynamics of the mine. The remaining fluctuations offer an easy opportunity to monitor the network itself.

## Seismologie SO-P.005

### *The threshold values of ambient seismic noise and surface geology*

**Garus, D.\***

University of Silesia, Faculty of Earth Sciences, Sosnowiec, Polen

The cross-correlograms of ambient seismic noise for available station pairs provides dispersion characteristics of aseismic area and dispersion analysis of group velocity curves gives information about the geological structure. In this study the Root-Mean-Square (RMS) threshold values of ambient seismic noise used at the Windows Selection Method (WSM) allowed to receive the cross-correlograms and the dispersion analysis was carried out. The achieved results linked with surface geology are presented. It will be the input to future inversion for the vertical shear-wave velocity distribution.

## Seismologie SO-P.006

### *Einfluss von Windkraftanlagen auf seismologische Messungen*

**Hall, P.\*, Thomas, C., Ueding, S.**

Institut für Geophysik, Universität Münster, Münster, Deutschland

Im Rahmen der Energiewende nimmt die Bedeutung von erneuerbaren Energien stetig zu. Dazu werden vor allem im dünn besiedelten, ländlichen Bereich immer mehr Windkraftanlagen errichtet. Diese Gebiete sind allerdings auch für die seismologische Forschung von großer Bedeutung, da sie für gewöhnlich äußerst erschütterungsarm sind und somit ideale Bedingungen für die Aufzeichnung schwacher Bodenbewegungen bieten.

Windkraftanlagen stellen auf Grund ihrer Funktion jedoch selbst eine Erschütterungsquelle dar. Einerseits schwankt der Turm der Windkraftanlage unter dem Einfluss des Windes, andererseits wird durch die Bewegung der Rotoren ein Drehmoment erzeugt, das über das Fundament der Anlage direkt in den Boden übertragen wird.

Für die Analyse der Auswirkungen dieser Bodenbewegungen auf seismologische Messungen wurden an einer Windkraftanlage mehrere Messungen durchgeführt. Die verwendeten Seismometer wurden sowohl in verschiedenen Entfernungen von der Windkraftanlage als auch in verschiedenen Positionen relativ zu der vorherrschenden Windrichtung positioniert.

Mit Hilfe der Analyse der Frequenzspektren der verschiedenen Messstationen soll versucht werden, das Abklingverhalten der seismischen Signale der Windkraftanlage zu bestimmen. Damit soll insbesondere untersucht werden, wie weit die möglichen Störungen solcher Anlagen reichen um die Auswirkungen auf seismologische Beobachtungen abschätzen zu können. Neben dem Abklingverhalten wird auch der Einfluss der Windstärke und Windrichtung auf die induzierten Bodenbewegungen untersucht. Zusätzlich soll über erste Ergebnisse bezüglich des unterschiedlichen Frequenzgehalts bei Messungen in der Nähe von einer einzelnen Windkraftanlage im Vergleich zu einem Windpark mit mehreren Anlagen berichtet werden.

## Seismologie SO-P.007

### *Monitoring of microseismicity within Elbe-Valley-Zone*

**Mittag, R.\*, Hänel, F.**

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

An Earthquake swarm within Elbe-Valley-Zone happened in September 2013 and strongest earthquake with local magnitude of about 2 was recorded. Shortly after the main activity a local seismic station network was set up within the epicenter area to monitor microseismicity. Results are documented and compared with macroseismic activity and seismotectonic situation within Elbe fault zone.

Additionally, conditions and limits of seismic monitoring within the sedimentary Elbe graben with high local noise are discussed.

## Seismologie SO-P.008

### *High-resolution downhole microseismic monitoring in the Eastern Sea of Marmara, NW Turkey*

**Raub, C.\*<sup>1</sup>, Bohnhoff, M.<sup>1</sup>, Bulut, F.<sup>1</sup>, Dresen, G.<sup>1</sup>, Malin, P.E.<sup>2</sup>, Kilic, T.<sup>3</sup>, Kartal, R.F.<sup>3</sup>, Kadirioğlu, F.T.<sup>3</sup>, Nurlu, M.<sup>3</sup>, Ito, H.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Institute of Earth Science and Engineering, University of Auckland, Auckland, Neuseeland, <sup>3</sup>AFAD, Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department, Ankara, Türkei, <sup>4</sup>Center for Deep Earth Exploration (CDEX), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) below the Sea of Marmara represents a 'seismic gap' where a major earthquake is expected to occur in the near future. To monitor the NAFZ segment at the transition from the recent 1999 Izmit rupture to the Princes Islands segment offshore Istanbul we deploy 300 m deep vertical boreholes around the eastern Sea of Marmara within the framework of the ICDP-GONAF project (Geophysical Observatory at the North Anatolian Fault). The principal scientific objective of GONAF is to study physical processes acting before, during and after the expected M>7 earthquake along the Princes Islands segment of the NAFZ by monitoring microseismic activity at significantly reduced magnitude detection threshold and improved hypocentral resolution. The first three GONAF boreholes were drilled, instrumented and completed by the end of 2013 each including a vertical seismic array of several vertical and three-component borehole geophones and seismometers. Based on the successfully lowered magnitude detection threshold for seismicity throughout the Cinarcik Basin we were able to detect e.g. microseismic swarm activity nearby the Tuzla cluster, a pronounced seismicity cluster being active since the M7.4 Izmit earthquake in 1999. The now detected swarm activity lasted a period of a few days producing approximately 100 events with magnitudes between -1 and 1.6 of which only the largest event was seen by the regional seismic network.

## Seismologie SO-P.009

### *Local earthquake location by traveltimes stacking: a case study from the Armutlu peninsula, NW Turkey*

**Irmak, T.S.<sup>1</sup>, Grigoli, F.<sup>2</sup>, Cesca, S.\*<sup>2,3</sup>, Lühr, B.-G.\*<sup>3</sup>, Caka, D.<sup>1</sup>, Tunç, B.<sup>1</sup>, Woith, H.<sup>3</sup>, Schumann, L.-J.<sup>3</sup>, Baris, S.<sup>1</sup>, Dahm, T.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Kocaeli University, Inst. f. Geophysics, Kocaeli, Türkei, <sup>2</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, S2.1 Erdbeben und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland

The Armutlu seismological network is located in the Eastern Marmara region, Turkey, which is exposed to hazards from major earthquakes on segments of the North Anatolian Fault (NAF). The seismotectonic setting is complex, due to the interaction of fault branches of the NAF, pull apart basins and other crustal faults. Precise locations of microearthquakes and focal solutions are important to better understand the complex tectonic interaction. The reliability and correctness of the locations depends not only on the velocity model, but also on the quality of associated phase arrivals and the network geometry.

We apply and test a full waveform approach (LOKI software, Grigoli et al. 2013) to automatically locate events. The method is based on the stacking of characteristic functions. It works directly on waveforms and does not require phase picking or phase association. The following steps are considered: (i) build characteristic functions enhancing P and S onsets from 3C waveforms, (ii) perform a 3D grid search for hypocentral locations, (iii) stack characteristic functions at each location along theoretical travel time surfaces, and (iv) find the hypocentral coordinates at the location of maximal coherence. The results of the automatic locations are compared to those from conventional location using hand-picked data. We further study the effect of 7 different velocity models suggested for the Marmara region. Only events inside the network with at least nine P and S readings were selected. On the basis of three statistical error measurements, (1) RMS of travel time residuals, (2) the error in depth, and (3) the error in the epicenter coordinates, a best 1D model is selected. This is compared to the best 1D model using VELEST (Kissling et al., 1994). Although the results confirm that best velocity models can be selected by waveform stacking methods, the relatively high residuals indicate that effects from 3D heterogeneities are still strong. 3D velocity models should be considered in future by means of full 3D tomographic studies.



## Seismologie SO-P.010

*Segmentation of the North Anatolian Fault Zone in the broader Marmara region in NW Turkey*  
**Bohnhoff, M.\*<sup>1</sup>, Dresen, G.<sup>1</sup>, Bulut, F.<sup>1</sup>, Raub, C.<sup>1</sup>, Ickrath, M.<sup>1</sup>, Kilic, T.<sup>2</sup>, Kartal, R.F.<sup>2</sup>, Kadiriouglu, F.T.<sup>2</sup>, Nurlu, M.<sup>2</sup>, Malin, P.E.<sup>3</sup>, Ito, H.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>AFAD, Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department, Ankara, Türkei, <sup>3</sup>Institute of Earth Science and Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand., Auckland, Neuseeland, <sup>4</sup>Jamstec, Center for Deep Earth Exploration (CDEX), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan., Tokyo, Japan

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) in Turkey has produced a remarkable sequence of westward propagating large earthquakes throughout the last century. This sequence has left the Marmara section close to Istanbul as the only part of the entire fault that has not ruptured for about 250 years. We review studies along the 1999 Izmit and Düzce ruptures and relate these results to similar ones on the Marmara section of the NAFZ, namely the gap between the 1912 Ganos and the Izmit ruptures. We find that the main branch of the fault is composed of 20 to 40 km long segments separated by seismic barriers. During the M7.4 Izmit event these segments were all activated within tens of seconds. Subsequently, it took 87 days for the rupture to continue towards the east onto the Düzce segment (M7.1). The fault barrier at the western end of the 1999 rupture offshore of Istanbul has resisted slip on the adjacent Princes Island segment since then. Recent findings from microseismic monitoring in the latter key-region indicate bending points of the fault with substantial microseismic activity while the presumable easternmost tip of the 1999 Izmit rupture is entirely aseismic. This aseismic portion is located within 15-20 km of the historical city center of Istanbul and interpreted as a potential nucleation point of the pending Marmara earthquake.

## Seismologie SO-P.011

*Imaging of material interfaces along the North Anatolian Fault Zone, Turkey, using near-fault seismic recordings*

**Najdahmadi, B.\*<sup>1</sup>, Bulut, F.<sup>1</sup>, Ben-Zion, Y.<sup>2</sup>, Bohnhoff, M.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz-Centre Potsdam German Centre for Geosciences GFZ, Potsdam, Germany., Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>University of Southern California, Department of Earth Sciences, USA., Los Angeles, USA, <sup>3</sup>Freie Universität Berlin, Department of Earth Sciences. Helmholtz-Centre Potsdam German Centre for Geosciences GFZ, Potsdam, Deutschland

We investigate the presence and properties of bimaterial interfaces zones at the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) in Turkey using Fault Zone Head Waves. These wave types have proven to be the most diagnostic signal to detect the existence of sharp bimaterial interfaces.

Theoretical works indicate that mode II ruptures on a fault that separate different media tend to evolve with continued propagation to a pulse that propagates preferentially in the direction of slip on the compliant side of the fault in case of homogenous distribution of initial fault normal stress and negligible structural complexity along the rupture plane. Such ruptures produce dynamic dilation at the tip that propagates in the direction of slip on the more compliant side of the fault, referred to as the preferred direction, and dynamic compression at the tip propagating in the opposite direction. The amplitudes of the dynamic changes of fault-normal stress near the rupture tips increase with propagation distance along the bimaterial interface due to a continual transfer of energy to shorter wavelengths. Therefore, the dynamic bimaterial effects become progressively more important with increasing event size. The theoretical studies suggest that bimaterial ruptures tend to be associated with larger moment release and larger generated motion in the preferred direction. In our work the changes in particle motions and polarity of seismic waves from fault-normal to source-receiver directions are studied to identify early-arriving fault zone head waves on the slow side of the fault and to measure the arrival times of the head and direct P waves which helps us to know the velocity contrast across the fault. One of the objectives of this study is to use and further develop this method for selected seismic stations along the NAFZ focusing on selected earthquakes occurring on the main fault segments. The images obtained here are expected to contribute to fundamental aspects of earthquake and fault dynamics on the NAFZ, including the mode and propagation direction of earthquake ruptures, triggering and effective constitutive laws. In addition, the results will provide a detailed site characterization for the drill sites of the ICDP-GONAF project around the eastern Sea of Marmara.

## Seismologie SO-P.012

### *The Hawaiian plume displaced - Evidence from PLUME seismic data*

**Laske, G.<sup>\*1</sup>, Rychert, C.A.<sup>2</sup>, Marzen, R.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Scripps Institution of Oceanography, IGPP-0225, La Jolla, USA, <sup>2</sup>University of Southampton, ocean and Earth Science, Southampton, UK, <sup>3</sup>Rice University, Houston, USA

In classical plume theory, thermal anomalies rise vertically to the surface of the Earth. However, seismically imaging plume locations has proven challenging, and several observations and results from geodynamics suggest that plume trajectories may be more complicated than simple vertical upwellings. Here we use surface wave constraints from the Hawaiian PLUME experiment and S-to-P receiver functions to explore the lithosphere and asthenosphere beneath Hawaii.

We image a strong, sharp velocity increase at 110 to 155 km depth, with the greater depth being about 100 km west of Hawaii. Results from geodynamic modeling suggests that this discontinuity may be related to the onset of melting, and is therefore expected to be deeper in locations of thermal plume anomalies. The greatest depth of the imaged discontinuity coincides with a strong low-velocity anomaly revealed from Rayleigh-wave tomography. We therefore interpret this region as the base of a melt-rich body west of Hawaii. The mapping of Rayleigh-wave azimuthal anisotropy also reveals a complex flow that is inconsistent with a plume impinging the lithosphere from the southeast, as some geodynamic models predict.

These results clearly reveal that a proposed mantle plume beneath Hawaii is not located directly beneath the surface hotspot. Nor does it impinge the uppermost mantle to the southeast of Hawaii. Rather, the plume either approaches the surface at an angle or a replete root beneath the hotspot diverts the ascending plume at shallow depths. In either case, mantle melts are likely guided from the location of impingement on the lithosphere to current day surface volcanoes by pre-existing structures.

## Seismologie SO-P.013

### *Regional and local observations of glacier seismicity on Spitsbergen, Svalbard: Icequakes and tidally-modulated tremors*

**Köhler, A.<sup>1</sup>, Nuth, C.<sup>1</sup>, Schweitzer, J.<sup>2</sup>, Weidle, C.<sup>\*3</sup>**

<sup>1</sup>Dept. of Geosciences, University Oslo, Oslo, Norwegen, <sup>2</sup>NORSAR, Kjeller, Norwegen, <sup>3</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland

In this study we use seismic data recorded between 2008 and 2012 on permanent broadband stations on Svalbard to detect, locate and analyze glacier seismicity in the northwestern and southern part of the archipelago. In the area around Kongsfjorden/Ny-Ålesund in northwestern Spitsbergen as well as around Hornsund in southern Spitsbergen we observe a high number of seismic events. There is clear evidence that they are of glacial origin with spatial icequake clusters related to different glaciers. The clusters show a clear seasonal variability, i.e. much more events are observed from late summer on to end of autumn, in accordance with expected variability of glacier activity. Seismic signals show clear peaks in the amplitude spectrum between 1 and 5 Hz, a characteristic feature which has been observed at calving glaciers in Alaska and on Greenland. Correlation with visually-observed calving event in summer 2009 and 2010 also suggests that a significant portion of observed icequakes is indeed related to calving. Based on different spectral character and temporal distribution, we identified another type of icequakes within the area of the Nathorstbreen glacier system in southern Spitsbergen, which had a major surging phase recently. Beside icequakes, we observe a second type of glacier-related seismic emission around Kongsfjorden which are tidally modulated tremor-like signals. Their occurrence is correlated with the time of tidal maxima as well as the tidal range in Ny-Ålesund. We think that the tremors are related to tidally modulated hydrostatic pressure changes which could influence the flow of water through the basal hydrological system of glaciers in that area. We installed a temporary local seismic network around Kronebreen, a glacier in the Kongsfjorden area, between May and September 2013. The recovered data will help us to better understand the origin of glacier seismicity and to link local and regional observations.

## Seismologie SO-P.014

### *Validation and discrimination of ground-truth infrasound signals at regional distances using propagation modeling*

**Koch, K.<sup>\*1</sup>, Pilger, C.<sup>1</sup>, Streicher, F.<sup>2</sup>, Ceranna, L.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>DLR, Oberpfaffenhofen, Deutschland

In 2011/2012 an infrasound field campaign was carried out by deploying single infrasound sensors along the great circle path between a known ground-truth source (ARIANE-5 engine testing facility, DLR Lampoldshausen, Germany) and a regional receiver (German IMS infrasound array IS26, Bavarian Forest), thus covering a range of some 320 km. The obtained recordings provide new insights in the infrasonic wave propagation at regional and near-source distances including the acoustic shadow zone by comparing measured signals with modeling results within this study.

Ray-tracing and parabolic equation approaches are utilized to model infrasound propagation from the ground-truth source to the line profile sensors and explain the obtained detections and non-detections. Modeling results are compared to the observations by estimating their amplitude and quantifying amplitude deviations. In addition we considered observed and calculated travel times and celerities representing the apparent velocity along the surface. Modeling results show a significant influence of small-scale atmospheric variations in effective sound speed profiles on the propagation pattern, which results in highly variable tropospheric and stratospheric ducting behavior. Besides, a large number of gravity wave profiles is tested to investigate the influences of atmospheric dynamics on the resulting infrasound wave field pattern and to improve the modeling results. The modeling is furthermore applied to a case of two potential, contemporaneous and closely spaced infrasound sources. Propagation modeling is used here to resolve the source ambiguity between a ground-based and a higher altitude source giving a strong preference to the latter with respect to the observed infrasonic signatures. Infrasound propagation modeling was applied to the validation of infrasound signal measurements, to resolve different levels of the atmospheric ducting behavior of the infrasound wave field and also to discriminate between infrasound sources. The good agreement between modeling results and observations highlights the benefit of this kind of studies to better resolve observed infrasound signal patterns, which is particularly important at regional distances.

## Seismologie SO-P.015

### *Investigation of the relationship between Vp/Vs ratio and probable fluid path-ways in west Bohemia*

**Mousavi, S.S.<sup>\*1</sup>, Bauer, K.<sup>2</sup>, Korn, M.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geology and Geophysics, Leipzig university, Leipzig, Deutschland, <sup>2</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland

In this investigation we use high-resolution local earthquake data to study the Vp and Vp/Vs structure, and seismicity distribution in western Bohemia around the prominent earthquake swarm region. We used 543 earthquakes recorded in a relatively dense seismic network (station spacing 4-10 km) to determine accurate hypocenter locations with detailed 1D and 3D velocity structure down to a depth of 11.5 km. Good resolution of the Vp and Vp/Vs model is constrained to the central part of the study area. To support the interpretation of the multi-parameter tomographic earth model, pattern recognition techniques were additionally applied using self-organizing maps. This kind of analysis reveals prominent features within the tomographic model, which show distinct, anomalous petrophysical properties.

Fluid behavior in the subsurface of western Bohemia is still poorly understood, however, according to the results of this study, the tomographic images confirm the existence of two main fluid passages towards the Bad Brambach and the Bublak moffetts. These two anomalies with high Vp/Vs ratio, assumed to be highly fluid saturated fracture zones, were detected at the upper limit of swarm quakes focal zone. Another interesting result is the detection of a linear high Vp/Vs anomaly along the MLF in the shallow crust of western Bohemia. This feature could be related with increased fluid saturation within the fractured surroundings of the fault plain. Ultimately, the distribution of re-located hypocenters corresponds to the regions with low Vp and low Vp/Vs ratio. The correlation between the detected Vp, Vp/Vs anomalies with the location of the earthquake swarm suggests a model in which CO<sub>2</sub> as part of magmatic fluids exist in the vast area beneath western Bohemia and frequently migrates up to the surface.

## Seismologie SO-P.016

### *Investigation and monitoring of seismic velocity change related to earthquake swarms in West Bohemia/Vogtland*

**Fallahi, M.J.\*<sup>1</sup>, Korn, M.<sup>1</sup>, Sens-Schönfelder, C.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, Deutschland, <sup>2</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

The West Bohemia/Vogtland region is characterized by earthquake swarms with a typical source depth of 6-12 km. During the swarmquakes, several thousand events occur in a small volume in a period of one to several months. Degassing of upper mantle derived fluids, correlating with seismicity, is observed as well as temporal variations in the amount and composition of the emitted gas, isotope composition, and in earthquake source processes. Evidence for the triggering of earthquakes by fluids were found by earthquake source studies and inter-event relationships. Fluid reservoirs in the upper crust and at the crust-mantle boundary have been proposed as an explanation, though it is indeed still a hypothesis and lacks direct observation. Epicentres and gas springs are spatially separated and the pathways of fluids to the surface remain unresolved as are their relations to the crustal seismic structure. The unknown processes and relationships make the Eger Rift/Vogtland area an outstanding place for scientific drilling. In this study, we analyzed temporal variations in seismic velocity in the area of the swarm earthquakes in west Bohemia/Vogtland during an earthquake swarm in October 2008 using Passive Image Interferometry (PII). In this method the correlation of ambient seismic noise is used to obtain Green functions that include multiply scattered coda waves. Three-component data allow a redundant measurement of six independent trace pairs for each station pair. Additionally the autocorrelation functions was examined. Here, the idea is that due to fluid intrusions in the source area, cracks will open and the fluid contents in cracks will change. This in turn will change the seismic velocity in the source area. So far, using this method, we didn't observe seismic velocity variations related to earthquake swarms in this area.

## Seismologie SO-P.017

### *Schätzungen von Erdbebenschäden mit unvollständigen Beobachtungen*

**Bachschmid, M.\*, Gottschämmer, E., Wenzel, F.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Für ein Erdbeben (z.B. bei Köln) soll im Ereignisfall eine schnelle Schadensschätzung unter Berücksichtigung der Unsicherheiten gemacht werden. Der Gesamtgebäudeschaden wird so geschätzt, dass für jeden betroffenen Postleitzahlbezirk eine Vulnerabilitätskurve bekannt ist, die das mittlere Schadensverhältnis bei gegebener makroseismischer Intensität angibt: der Gebäudewert ist ebenfalls bekannt. Wenn man die Intensitäten in allen PLZ-Bezirken kennt, kann man den Gesamtschaden summieren. Das ist aber nicht der Fall, da man (a) sowohl die Epizentralintensität nur mit Unsicherheiten aus der Magnitude angeben kann, es (b) verschiedene mögliche Abminderungsrelationen der Intensität gibt und (c) diese mit einem aleatorischen Fehler in jedem PLZ-Bezirk behaftet sind. Für alle drei Unsicherheiten lassen sich A-priori-Verteilungen angeben. Ohne weitere Kenntnisse wird dann der Gesamtschaden einer Verteilung genügen, die sehr breit streut.

Wenn man nun durch Schadensberichte aus einigen wenigen ausgewählten PLZ-Bezirken die dort aufgetretenen Intensitäten kennt und damit über A-posteriori-Informationen verfügt lassen sich die A-priori-Verteilungen mit dem Bayes'schen Satz schärfen und damit der Erwartungswert des Gesamtschadens und dessen Varianz präzisieren. Durch die in ausgewählten PLZ-Bezirken aufgetretenen Intensitäten lässt sich auch die A-priori-Verteilung für die verschiedenen Abminderungsrelationen der Intensität mit Hilfe des Satzes von Bayes genauer angeben.

Für die Modellierung der Schäden werden synthetische Daten genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine deutliche Verbesserung der Abschätzung der Epizentralintensität durch die A-posteriori-Informationen von ausgewählten PLZ-Bezirken möglich ist. Ebenso verdeutlichen die Ergebnisse, dass durch die Schadensberichte aus ausgewählten PLZ-Bezirken die Korrektheit verschiedener Abminderungsrelationen mit diskreten Wahrscheinlichkeiten angegeben werden kann. Es kann somit gezeigt werden, dass mit Hilfe des Satzes von Bayes eine schnelle Schadensschätzung mit unvollständigen Beobachtungen möglich ist.

## Seismologie SO-P.018

### *Residual Risk of Earthquakes for Buildings*

**Frey, E.\*<sup>1</sup>, Daniell, J.<sup>1</sup>, Gottschämmer, E.<sup>1</sup>, Tsang, H.-H.<sup>2</sup>, Wenzel, F.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland, <sup>2</sup>Faculty of Engineering & Industrial Sciences, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Victoria, 3122, Australien

Seismic codes assure that buildings do not collapse for a specified level of ground motion. For residential buildings this ground motion level is usually defined as the seismic hazard value (in PGA) with a return period of 475 years. However, even moderately strong earthquakes can be associated with ground motions above the 475 year hazard level, thus exceed the safety margins of the codes and cause collapse.

This fact constitutes the residual risk to residential buildings. However, the residual risk is not measured, just assumed to be somehow small or tolerable. We try to quantify residual risk by studying the probability of building collapse by using standard hazard models and building types (HAZUS typology) and looking at the collapse probabilities beyond the design ground motion level. We first derive fragility curves for collapse that depend on PGA from ground motion design spectra and building capacity curves. This provides the conditional probability of collapse, given a certain PGA level. Our measure of residual risk for a certain building type is the unconditional annual collapse probability for all PGA-values of the hazard curve.

Assuming simple analytic forms of fragilities (cumulative log-normal distribution) and hazard (power-law dependence) the residual risk can be expressed analytically with few parameters. Otherwise numerical integration must be performed.

## Seismologie SO-P.019

### *Erdbebenschäden und deren Sensitivität bezüglich der Gefährdungsparameter*

**Reiß, A.-S.\*, Gottschämmer, E., Daniell, J., Wenzel, F.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Durch Erdbeben verursachte Gebäudeschäden reagieren auf die Änderung verschiedener Gefährdungsparameter (z.B. Erdbebenmagnitude oder Gebäudetyp) unterschiedlich sensitiv. Für diese Sensitivitätsanalyse simulieren wir Schäden mit der Software SELENA (**SE**ismic **L**oss **E**stimation using a logic tree **A**pproach), die durch mitteltiefe Erdbeben in der Region Vrancea (Rumänien) südwestlich der Karpaten in Tiefen zwischen 70 und 180 km entstehen. Vrancea zählt zu den seismisch aktivsten Regionen in Europa und vor allem größere Städte wie Focsani und Bukarest sind aufgrund der starken subkrustalen Beben besonders gefährdet. Für die Analyse werden Magnitude ( $6,5 \leq M_w \leq 8,5$  in 0,5er-Schritten), Herdtiefe ( $80 \text{ km} \leq H \leq 180 \text{ km}$  in 20er-Schritten), Bodentyp (nach Eurocode 8), Gebäudetyp und Alter des Gebäudes variiert und die flächenhaften Gebäudeschäden über ganz Rumänien berechnet. Außerdem werden zur Berechnung der maximalen Bodenbeschleunigung zwei verschiedene Abminderungsrelationen verwendet: Eine radialsymmetrische von Marmureanu et al. (2006) und eine mit Richtungsabhängigkeit von Sokolov et al. (2008). Letztere beschreibt die tatsächliche Verteilung der Bodenparameter realistischer als eine radialsymmetrische Verteilung. Es wird gezeigt, wie sich die Verteilung der Schäden mit der Variation der Eingangsparameter ändert und welche Variablen den größten Einfluss auf die Schadensverteilung haben. Dabei werden neben Ergebnissen einfacher Simulationen mit nur einem Gebäude- und Bodentyp auch Ergebnisse von Simulationen mit einem realistische Untergrund- und Gebäudemodell gezeigt.

## Seismologie SO-P.020

### *Globale Analyse von Erdbebenschäden auf Basis des CATDAT Kataloges*

**Reiß, A.-S.\*, Daniell, J., Wenzel, F.**

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, Deutschland

Auf Grundlage des CATDAT (**CAT**astrophe **DAT**abase) Kataloges haben wir globale Trends von Erdbebenschäden statistisch untersucht. Dieser Katalog enthält sowohl seismologische als auch sozioökonomische Daten von mehr als 12400 Schadensbeben seit 1000 n. Chr. weltweit. Für unsere Analyse haben wir ökonomische Schäden (in heutige Werte umgerechnet) und Zahlen von Todesopfern und Obdachlosen zwischen 1900 und 2011 verwendet. Für diesen Zeitraum sind die Daten von Erdbeben mit Momentenmagnituden größer 6 vollständig. Unsere Auswertung hat ergeben, dass die kumulative Verteilung der ökonomischen Schäden unterhalb von 5 Mrd. US\$ durch ein Potenzgesetz mit einem Exponenten von 2,5 beschrieben werden kann. Ein solches Potenzgesetz hat zwar einen Erwartungswert, aber keine Varianz. Höhere Schäden können durch ein Potenzgesetz mit einem Exponenten von 3,5 angepasst werden, für welches sowohl Erwartungswert als auch Varianz existieren. Wenn man den Analysezeitraum von Schäden unterhalb von 10 Mrd. US\$ in zwei Fenster (1900 bis 1955 und 1955 bis 2011) aufteilt, sind die Schäden zwischen 1955 und 2011 um etwa einen Faktor drei größer als zwischen 1900 und 1955. Dieser Trend ist auch bei den Zahlen von Obdachlosen, aber nicht bei Todesopfern zu beobachten. Dies ist wahrscheinlich auf eine sicherere Bauweise und bessere Frühwarnung zurückzuführen. Zusammenfassend zeigt sich, dass a) eine korrekte Umrechnung der historischen ökonomischen Schäden in heutige US\$-Werte eine wichtige Rolle bei der Auswertung solcher Daten spielt; b) zeitliche globale Trends nur in den "kleineren" Schäden, aber nicht den großen zu erkennen sind; c) die Häufigkeitsverteilungen durch ein Potenzgesetz beschrieben werden können.

## Seismologie SO-P.021

### *Integration von Katalogen mit historischer und instrumentell erfasster Seismizität für Deutschland in einer gemeinsamen Datenbank - Konzepte, Nutzungen und Produkte*

**Bürk, D.\*, Kaiser, D., Hartmann, G., Stelling, U., Schlote, H.**

BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Die systematische und möglichst vollständige Erfassung von Erdbebenparametern bildet die Grundlage einerseits für ingenieurseismologische Gefährdungsanalysen, andererseits für die Herausgabe seismologischer Kataloge. Bisher wurden die Daten für diese unterschiedliche Nutzung an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) getrennt geführt. Nun werden der (historische) Erdbebenkatalog für Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 bis 2008 (Leydecker, 2011, Geol. Jb. E 59) und der "Data Catalogue of Earthquakes in Germany and Adjacent Areas" (<http://www.bgr.bund.de/erdbebenkatalog-deutschland>), in dem alle instrumentell ausgewerteten Erdbeben seit 1975 erfasst sind, in einer gemeinsamen Datenbank zusammengeführt. Die Konzepte, die bei der Zusammenführung zu berücksichtigen sind, die unterschiedlichen Nutzungen des Kataloges, sowie die daraus entstehenden Produkte werden im Poster dargestellt.

Der Katalog für die instrumentell erfassten Erdbeben wird bereits mit Hilfe eines relationalen Datenbanksystems bearbeitet. Bevor die Daten des historischen Kataloges übernommen werden können, müssen Anpassungen am Datenmodell der Datenbank vorgenommen werden: Existieren mehrere Quellen, die Hypozentrum, Magnitude oder makroseismische Intensität zu einem Ereignis angeben, so muss jeder Parameter unabhängig priorisiert werden können. Erdbebeninformationen aus Katalogen benachbarter Länder werden durch einen automatisierten Abgleich in die Datenbank integriert. Sämtliche Änderungen werden unter Angabe des Grundes dokumentiert. Irrtümlich aufgenommene Ereignisse werden nicht gelöscht, sondern in Bewertung einer neuen Informationsquelle entsprechend klassifiziert. Damit entsteht im Laufe der Zeit ein Archiv dieser Fehlinterpretationen.

Für die makroseismische Auswertung werden Intensitätsdatenpunkte mit Orts- und Zeitangaben gespeichert, aus denen makroseismische Intensitätskarten und Herdtiefen abgeleitet werden können. Die Pflege und Vervollständigung des Kataloges durch historische Quellenforschung erfordert die Dokumentation von Literaturstambäumen in der Datenbank. Diese Erweiterung eröffnet neue Recherchemöglichkeiten.

## Seismologie SO-P.022

### *Entwicklung einer paläoseismischen Datenbank für Deutschland und angrenzende Gebiete*

**Hürtgen, J.<sup>1\*</sup>, Spies, T.<sup>2</sup>, Schlittenhardt, J.<sup>2</sup>, Reicherter, K.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>RWTH, Lehrgebiet Neotektonik und Georisiken, Aachen, Deutschland, <sup>2</sup>BGR, Ingenieurseismologische Gefährdungsanalysen, Hannover, Deutschland

Die grundlegende Bedeutung der Ergebnisse des jungen geowissenschaftlichen Fachgebiets der Paläoseismologie für die Ermittlung der seismischen Gefährdung an einem Standort oder in einer Region wurde in den letzten Jahren erkannt. Die Befunde für Erdbeben, die in der geologischen Vergangenheit auftraten, stellen die einzige Datenquelle dar, um die Seismizität über sehr lange Zeiträume zu charakterisieren, wie es Empfehlungen und Normen zur Ermittlung der seismischen Gefährdung fordern. Zum Beispiel enthält die im Dezember 2011 in Kraft getretene Aktualisierung der KTA-Regel 2201.1 "Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen" (KTA - Kerntechnischer Ausschuss), nach der die Bemessung der deutschen Kernkraftwerke zu ermitteln ist, explizit die Forderung nach der Berücksichtigung paläoseismischer Befunde. Die Internationale Atomenergiebehörde IAEA begann in 2012 mit einem umfassenden Programm, das sich mit der Erarbeitung des Standes von Wissenschaft und Technik zur Einschätzung externer Gefahren befasst, um seine Sicherheitsanforderungen und Empfehlungen aktualisieren zu können. Einen Schwerpunkt bilden die Ergebnisse der Paläoseismologie, wobei es sowohl um die Erstellung regionaler und globaler Datenbanken als auch um Anweisungen zu ihrer adäquaten Nutzung geht.

Bisher fehlte eine systematische Zusammenstellung paläoseismischer Befunde und ihrer Bewertung für Deutschland und angrenzende Gebiete. Im Auftrag und in Zusammenarbeit mit der BGR erarbeitet die RWTH Aachen momentan eine Studie, die diese Grundlagen schafft. Ein Ergebnis der Studie ist die Datenbank PalSeisDB, die die paläoseismischen Befunde beinhaltet. Im Beitrag werden die Grundzüge der Datenbank skizziert und Anwendungsmöglichkeiten vorgestellt. Graphische Darstellungen ausgewählter Datensätze sind mit einem GIS möglich. Die Studie wird als Referenz für zukünftige seismische Gefährdungsanalysen dienen, z. B. zusammen mit Erdbebenkatalogen als Basisdaten im Fall kerntechnischer Anlagen in Deutschland. Im internationalen Kontext des Programms der IAEA ist sie ein Pilotprojekt zur beispielhaften Erstellung einer paläoseismischen Datenbank für eine Region mit niedriger bis moderater Seismizität.

## Seismologie SO-P.023

### *Out-of-plane reflections - are they evidence for deep subducted lithosphere?*

**Schumacher, L.<sup>\*</sup>, Thomas, C.**

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland

Subduction zones form dominant tectonic features on the Earth and have complex three-dimensional structures. Tomographic inversions for P- and S-wave seismic velocities in the Earth's mantle give impressive images of slabs descending into the deep Earth. However, direct observations of deep slabs are scarce but necessary to make statements concerning physical parameters, structural differences within the slab and its behavior with depth. The main objective of this study is to investigate the geometry, physical parameters and structural differences of subducted lithosphere by investigating seismic P-wave arrivals that reflect off the base of the slab using seismic array techniques. The great circle paths of the source-receiver combinations used do not intersect the slab and serve as reference. We focus on the North Pacific region by using earthquakes from Japan, the Philippines and the Hindukush recorded at North American networks (e.g. USArray, Alaska and Canada). The data cover a period from 2000-2012 with a minimum magnitude of 5.6 Mw and depths below 100 km. We are looking for reflections from the slab region that would arrive at the stations with deviating backazimuths. Information on slowness, backazimuth and travel time of the observed out-of-plane arrivals is used to backtrace the wave to its scattering location and to map seismic heterogeneities associated with subduction zones. The reflection points give an idea for the 3D structures within the mantle. Assuming only single scattering in the backtracing algorithm, most out-of-plane signals have to travel as P\*P and only a few as S\*P phases, due to their timing. Taking into account the radiation pattern of each event in direction of the great circle path and towards the calculated reflection point, it is possible to compare the polarities of the out-of-plane signals with P and/or PP. Furthermore, we analyze the

out-of-plane waveforms in the beam trace of the observed slowness and backazimuth by cross-correlating them with great circle path phases and applying a systematic frequency analysis. The result helps us to understand the depth dependent thermal behavior of sinking lithosphere, its internal structure and the extent to which it is seismically visible.

## Seismologie SO-P.024

### *Mantle transition zone structure beneath the Siberian craton from PP precursors*

**Lessing, S.<sup>\*1</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>, Rost, S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, UK

Cratons are the tectonically stable cores of continents with deep lithospheric roots in the topmost 200-250 km of the upper mantle. Whilst cratonic roots are likely confined to the upper mantle, they might possibly influence temperatures in the surrounding and underlying mantle. The cratonic lid may have either a cooling or heating effect, both of which may lead to small-scale convective flow around the root. Cold regions may arise beneath downwellings, expected at the edges of the craton, or the cratonic roots may act to insulate and heat the underlying mantle. Since the upper mantle mineral phase transformations are sensitive to temperature, they may be used to map lateral temperature variations. In this study, we investigate the upper mantle discontinuities beneath the Siberian craton with PP and its precursors which are reflections of P waves at the discontinuities halfway between sources and receivers. We use sources in the subduction zones beneath Japan and Izu-Bonin recorded at temporary and permanent networks in Europe and sources in the subduction zones beneath Japan and Izu-Bonin recorded at temporary and permanent networks in Alaska and Canada, yielding reflections points in the Siberian craton and Northeastern China. We apply methods from array seismology to measure arrival time, slowness and backazimuth of PP and its precursors and to convert traveltimes to reflector depths. We use thermodynamic calculations of equilibrium phase assemblages for feasible bulk mantle compositions in order to interpret our observations with regard to mineral physics and the state of the mantle in the region.

## Seismologie SO-P.025

### *Detection of the D'' discontinuity using GEOSCOPE stations and source arrays*

**Heyn, B.<sup>\*1</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>, Stutzmann, E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Institut de Physique du Globe, Sismologie, Paris, Frankreich

Broadband seismometers belonging to the French GEOSCOPE network are used to detect P wave reflections at the D'' discontinuity, the lowest 200-400km of the Earth's mantle, with source arrays consisting of several earthquakes recorded at one station. As this method has rarely been applied, this study is focused on testing its achievable resolution and the resulting accuracy of source array vespagrams. Therefore, ten source-receiver geometries with PcP reflection points, both sampling slow and fast seismic regions beneath the Pacific and the Indian Ocean, are processed to create slowness vespagrams. Six of those areas show a more or less obvious PdP phase, whereas four of them do not mark a reflection at the D'' discontinuity in the respective stacks. A comparison to previous works made for the Cocos Plate and some areas beneath the central Pacific revealed similar observations for source and receiver arrays. Still, the resolution achieved with the source array vespagrams is not good enough to detect small velocity contrasts at the D'' layer, due to strong resolution limitations caused by inaccuracies of the source parameters, coherent stacking noise, and multiples from structures near the receiver. Consequently, source arrays cannot replace receiver arrays, but they can be used in areas not accessible with receiver networks in order to improve the global coverage of observations.



## Seismologie SO-P.026

### *Resolving regional D'' structure*

**Hempel, S.<sup>\*1</sup>, Nissen-Meyer, T.<sup>2</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford, UK

The Earth's mantle exhibits complex seismic structures: Low velocity regions of 1000km-scale are found in tomographic inversions. D'' reflectors of regionally individual shapes at the scale of hundreds of kilometers are observed in several areas, like the Gulf of Alaska, the Caribbean, Central and Southeast Asia, and the West and Central Pacific. On an even smaller scale, ultra-low-velocity zones (ULVZs) of 10% and 30% velocity decrease for P and S waves, respectively, at the scale of tenths of kilometers are found at the core-mantle boundary, often at the boundaries of the two large low velocity regions beneath the South Atlantic and the Central Pacific.

The individuality of the D'' structures, the yet unclear relation of the D'' structure to the low velocity regions, the ULVZs and small scatterers near the core-mantle boundary, as well as the uneven global distribution of recorded seismic waves sampling the D'' lead to the question how well array seismologic methods actually observe the D'' structures, especially the reflector with its relatively low impedance contrast of 1-4%, given its suggested high variability in topography. Therefore we use a 2.5D spectral-element wave propagation code to model lateral heterogeneities in the lowermost mantle of various sizes, shapes, elastic properties, topography and either sharp or gradual transition to the ambient mantle.

Our results show that D'' reflectors of a certain shape influence their observability via size and magnitude of the elastic property perturbation within the Fresnel zone of the sampling wave as well as via inclination of the reflector. Increasing inclinations result in a strong decrease in amplitude of the observed D'' reflections as well as a weak increase in travel time below the usual picking uncertainty. The reflection point, however, is laterally migrated due to the inclination of the reflector. Thus reflectors of several hundreds kilometers extent have to be constrained by several observed reflection points within the same Fresnel zone to avoid misinterpretation in 3D structure of the D'' reflector. However, areas with only a few observed reflection points or no observed reflection points could still be areas of no D'' structure, D'' structure of low impedance contrast, wide gradients, rough or very steep topography. Thus it remains to be answered whether the D'' reflector is a global or local phenomenon, and even more so what causes its regional individuality.

## Seismologie SO-P.027

### *Automatische Ereignisdetektion in Nordwestdeutschland*

**Bischoff, M.<sup>\*1</sup>, Ceranna, L.<sup>2</sup>, Gestermann, N.<sup>2</sup>, Hartmann, G.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Deutschland

In den vergangenen Jahren weckte die Seismizität des vormals oft als aseismisch bezeichneten norddeutschen Raums vermehrte Aufmerksamkeit. Von hohem öffentlichen Interesse sind Erdbeben, die wahrscheinlich durch die Erdgasförderung induziert werden. Außerdem sind in Norddeutschland in jüngster Vergangenheit tektonische Erdbeben bis Magnitude 3,4 registriert worden.

Zur Verbesserung der Überwachung wurde das Stationsnetz in den letzten Jahren deutlich erweitert. Langfristiges Ziel ist es, auch Ereignisse kleiner Magnituden  $M_I > 1.5$  in Norddeutschland vollständig automatisch zu erfassen. Hierzu nutzen wir in der Kooperation zwischen dem Niedersächsischen Erdbebendienst (NED) im Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) das Erdbeben Alarm- und Informationssystem ALISE, das an der BGR bereits seit vielen Jahren für ganz Deutschland etabliert ist. Es hat sich als ausfallsichere und kostengünstig arbeitende Automatik bewährt, die unmittelbar nach einem Erdbeben zuverlässige Informationen über Herdkoordinaten und Stärke bereitstellt. In der vorgestellten Arbeit optimieren wir die bewährten automatischen Detektions- und Lokalisierungsroutinen für Nordwestdeutschland.

Das System nutzt kontinuierliche Wellenformdaten von den digitalen seismischen Breitbandstationen des Deutschen Regionalnetzes (GRSN), und von kurzperiodischen Stationen regionaler und lokaler Netze sowie von einigen zusätzlich errichteten Stationen im Bereich der Erdgasförderung. Die Stationsanzahl ist eher

klein verglichen mit Netzen, die in anderen Regionen Deutschlands für solche Aufgaben betrieben werden. Dies wird unter anderem durch das Lokalisierungsverfahren kompensiert, welches sehr robust arbeitet und keine a priori Annahmen über die Natur der detektierten Einsätze macht. Vorgestellt werden die Seismizität Norddeutschlands und die aktuelle seismische Überwachung, die Funktionsweise von ALISE sowie erste Erfahrungen des Betriebs für Nordwestdeutschland.

## Seismologie SO-P.028

*Automated identification and timing of crustal phases for tomographic studies: Applications to the Marmara region, NW Turkey*

**Wollin, C.<sup>\*1</sup>, Bohnhoff, M.<sup>1,2</sup>, Küperkoch, L.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz Centre Potsdam, German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Free University Berlin, Institute of Geological Sciences, Berlin, Deutschland, <sup>3</sup>BESTEC GmbH, Landau, Deutschland

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) represents a right-lateral transform plate boundary that slips at an average rate of 20-30 mm/yr separating the Eurasian and Anatolian plates. During the last seismic cycle the NAFZ has produced a series of large earthquakes that started in 1939 in Eastern Anatolia and has propagated westward towards the Istanbul-Marmara region. Here an up to 150km long segment below the Sea of Marmara represents the only NAFZ segment that was not activated since 1766 representing a seismic gap believed being capable of generating a M7+ earthquake within the next decades. The Marmara region represents a transtensional setting with several offshore pull-apart basins along the northern fault strand. Although many multi-channel seismic profiles were conducted throughout the Sea of Marmara and several 2D velocity depth models were retrieved from wide-angle seismic lines the knowledge on the 3D-velocity structure in the Marmara region is still mostly limited to the uppermost ~5km where several sedimentary basins were identified and mapped. However, in order to tectonically characterize this region using high-precision earthquake hypocenter locations, an accurate knowledge of the 3D-velocity structure of the crustal layers down to the uppermost mantle is an essential prerequisite.

In this project we use recent advancements in automatic picking of P- and S-waves to consistently analyze extensive waveform data provided by permanent seismic broadband stations of the KOERI network and short period stations of the PIREN network. Our event catalog consists of earthquakes with magnitudes above 2.2 recorded throughout the Sea of Marmara. The stations being deployed on the mainland around the Sea of Marmara and on the Princes islands allow for an optimal azimuthal coverage of the events. The travel paths of the seismic waves laterally cover an area extending over approximately 100km by 250km and thus produce distinct crustal and uppermost mantle phases like Pg, Pn, PmP and their S-wave pendants. We precisely determine onset times of the different P- and S-trains together with non-discrete and non-symmetrical error estimates.

We present first results of non-linear location methods that use the redefined arrival times and their uncertainties as input. The minimum 1D-velocity model retrieved in this way will ultimately serve as a starting model for an inversion to obtain the first 3D-velocity model of the crustal and uppermost mantle of the Marmara region.

## Seismologie SO-P.029

*The 2013 seismic sequence close to the Castor project gas injection platform, offshore Spain*  
**Cesca, S.<sup>1,2</sup>, Dahm, T.<sup>\*2</sup>, Grigoli, F.<sup>1</sup>, Heimann, S.<sup>2</sup>, Gonzalez, A.<sup>2,3</sup>, Bufo, E.<sup>4</sup>, Maghsoudi, S.<sup>1</sup>, Blanch, E.<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spanien, <sup>4</sup>Departamento de Geofísica y Meteorología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Spanien, <sup>5</sup>Observatori de l'Ebre, Roquetes, Tarragona, Spanien

A spatially localized seismic sequence has originated few tens of kilometres offshore the Mediterranean coast of Spain, starting on September 5, 2013, and lasting until October 2013. The sequence culminated in a maximal moment magnitude Mw 4.3 earthquake, on October 1, 2013. The epicentral region is located near the offshore platform of the Castor project, where gas is conducted through a pipeline from mainland and where it was recently injected in a depleted oil reservoir, at about 2 km depth. We analyse the temporal evolution of the seismic sequence and use full waveform techniques to derive absolute and relative locations, estimate depths and focal mechanisms for the largest events in the sequence (with magnitude mbLg larger than 3), and compare them to a previous event (April 8, 2012, mbLg 3.3) taking place in the same region prior to the gas injection. Moment tensor inversion results show that the overall seismicity in this sequence is characterized by oblique mechanisms with a normal fault component, with a 30° low-dip angle plane oriented NNE-SSW and a sub- vertical plane oriented NW-SE. The combined analysis of hypocentral location and focal mechanisms could indicate that the seismic sequence corresponds to rupture processes along sub- horizontal shallow surfaces, which could have been triggered by the gas injection in the reservoir. An alternative scenario includes the iterated triggering of a system of steep faults oriented NW-SE, which were identified by prior marine seismics investigations. The most relevant seismogenic feature in the area is the Fosa de Amposta fault system, which includes different strands mapped at different distances to the coast, with a general NE-SW orientation, roughly parallel to the coastline. No significant known historical seismicity has involved this fault system in the past. Both of our scenarios exclude its activation, as its known orientation is inconsistent with the focal mechanism results.

## Seismologie SO-P.030

*D" observations in the Pacific from PLUME Ocean Bottom Seismometer recordings*  
**Thomas, C.<sup>\*1</sup>, Laske, G.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Scripps Institution of Oceanography, San Diego, USA

The seismic investigation of the lowermost mantle is in many places hampered by the lack of suitable source-receiver combinations that sample the D" region and have to meet the requirements of a suitable epicentral distance range. The low velocity regions beneath the Pacific and Atlantic Oceans in particular have been sampled in fewer places than circum Pacific regions. In this study, we use data from two recent Ocean Bottom Seismometer (OBS) deployments for the Plume-Lithosphere Undersea Mantle Experiment (PLUME) around Hawaii to increase the coverage of the lower mantle with reflected P waves. Through stacking of the data we achieve significant reduction in noise levels. The most favourable epicentral distances to detect D" reflections are around 70-79 degrees. Most of our source-receiver combinations have distances less than that, thereby limiting the number of candidate observed reflections. Nevertheless, using array methods, we are able to test approximately 70 events for arrivals with slowness values and arrival times that would be consistent with a top-side reflection off a possible D" structure (PdP wave). Modelling these data with a 1D reflectivity method, we identify a few places of detectable PdP waves, for which the velocity contrast in P and S-wave velocity across the D" reflector have to be relatively large (around 3-5 percent increase and decrease, respectively) compared to other regions (e.g. beneath the Caribbean or Eurasia where the contrast is closer to 1-2 percent). For larger distance ranges, smaller velocity contrasts are sufficient to cause observable reflections. This study shows that, despite the possible dominance of microseisms on OBS records, it is possible to use relatively short-period waves, with dominant periods as short as 3 to 7 s. Our findings suggest that, with future such deployments, OBS deployments will help to extend D" studies to previously unmapped regions.

## Seismologie SO-P.031

### *Preprocessing of ocean bottom data with special emphasis on three component array applications and receiver function analysis*

**Hannemann, K.<sup>\*1</sup>, Krüger, F.<sup>1</sup>, Dahm, T.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Sektion 2.1 Erdbeben und Vulkanphysik, GFZ Potsdam, Potsdam, Deutschland

The DOCTAR project (Deep Ocean Test ARray) started in 2011. We deployed twelve ocean bottom stations (OBS) as an array with an aperture of 75 km in the deep ocean (4.5 to 5 km water depth) of the Mid Atlantic. The array was located 800 km West of the coast of Portugal and 600 km North of the island of Madeira next to the Gloria fault. Each station was equipped with a three component broadband seismometer (Guralp 40T, 60s) and a hydrophone (HTI, 100 s) which shared the For most array methods, a common time base is essential, therefore we put much effort in estimating the relative clock drifts between the instruments by using ambient noise cross-correlation. Our results show a good agreement between estimated and measured drift rates and confirm that the clocks of the used instruments have constant drift rates. Moreover, we used the travel time of the sonar signals which were send to the releaser of each station from different directions to minimize the error of the position of each station to less than 1 km. One of our next steps will be the investigation of the station's subsurface with receiver functions. Therefore, we estimate the orientation of the stations with P-phase and Rayleigh phase polarization. Both methods give results which are in good agreement with each other. Additionally, we analyzed the behavior of the apparent incidence angle for P and S waves at the ocean bottom theoretically, with synthetic examples and sample events. We estimated the instrument's response functions to get displacement instead of velocity proportional data. We present preliminary results for the incidence angle analysis, restitution of the seismograms and examples of receiver functions.

## Seismologie SO-P.032

### *COOL: Crust of the Oman Ophiolite and its Lithosphere - a passive seismic experiment*

**Weidle, C.<sup>\*1</sup>, Agard, P.<sup>2</sup>, Ducassou, C.<sup>3</sup>, El-Hussain, I.<sup>4</sup>, Prigent, C.<sup>5</sup>, Meier, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland, <sup>2</sup>ISTeP, UPMC, Paris, Frankreich, <sup>3</sup>Dept. of Applied Geosciences, GUTech, Muscat, Oman, <sup>4</sup>Earthquake Monitoring Center, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman, <sup>5</sup>ISTerre, Université Joseph Fourier, Grenoble, Frankreich

Plate tectonics has established a framework for geoscientists to understand most geologic/tectonic processes that shaped our present-day Earth. 'Obduction', the emplacement of young, dense oceanic lithosphere (ophiolites) on top of older lighter continental lithosphere remains, however, a rather odd phenomenon. Some ophiolites are fundamentally similar to young oceanic crust and it is hence assumed that they were obducted as thrust sheets at the onset of continental subduction in a previously intra-oceanic subduction setting. The Peri-Arabic obduction corresponded to a spectacular, almost synchronous thrust movement along thousands of km from Turkey to Oman. At the eastern margin of the Arabian plate, the world's largest and best preserved ophiolite was emplaced in only a few My during Upper Cretaceous and is exposed today atop the Oman Mountain range. Although being the best studied ophiolite in the world, rather little is still known about the internal structure of the ophiolite and the Oman Mountains. The dimension of the ophiolite is large enough (~700 km) to be studied with seismological methods, providing thus a rare setting to investigate oceanic crust on land without ocean bottom installations.

We have deployed a network of 40 broadband seismometers across the Oman Mountains in Oct/Nov 2013 for passive seismic registration for a duration of 15 months. The network is complemented by 10 permanent stations in the area operated by the Earthquake Monitoring Center in Oman.

Aims of the project include:

- Seismological imaging of the geometry and internal properties of obducted oceanic, and its underlying continental lithosphere.
- Regional tomographic velocity models will provide constraints on geodynamic processes that led to large scale obduction.
- Investigating the "quiet" Makran subduction zone for local seismicity will improve understanding of seismic hazard on the eastern Arabian plate.

## Seismologie SO-P.033

### *Synthetic seismogram web service and Python tools*

**Heimann, S.<sup>1</sup>, Cesca, S.<sup>1</sup>, Kriegerowski, M.<sup>2</sup>, Dahm, T.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum, Sektion 2.1: Erdbeben und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Universität Hamburg, Hamburg, Deutschland

Many geophysical methods require knowledge of Green's functions (GF) or synthetic seismograms in dependence of ranges of source and receiver coordinates. Examples include synthetic seismogram generation, moment tensor inversion, the modeling of depth phases for regional and teleseismic earthquakes, or the modeling of pressure diffusion induced static displacement and strain.

Calculation of Green's functions is a computationally expensive operation and it can be of advantage to calculate them in advance: the same Green's function traces can then be reused several or many times as required in a typical application. Regarding Green's function computation as an independent step in a use-case's processing chain encourages to store these in an application independent form. They can then be shared between different applications and they can also be passed to other researchers, e.g. via a web service.

Starting now, we provide such a web service to the seismological community (<http://kinherd.org/>), where a researcher can share Green's function stores and retrieve synthetic seismograms for various point and extended earthquake source models for many different earth models at local, regional and global scale. This web service is part of a rich new toolset for the creation and handling of Green's functions and synthetic seismograms. It can be used off-line or in client mode. Its core features are:

- \* greatly simplified generation of Green's function stores
- \* supports various codes for Green's function computation
- \* extensible Green's function storage format
- \* flexible spacial indexing of Green's
- \* integrated travel time computation
- \* support for other types of Green's functions; e.g. poro-elastic GFs
- \* written in Python

## Seismologie SO-P.034

### *The Source Inversion Validation Project: Uncertainty Quantification in Earthquake Source Inversions*

**Mai, M.\*, SIV-Team, ..**

KAUST - King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal, Saudi-Arabien

Finite-fault source inversions estimate kinematic rupture parameters of earthquakes using a variety of available data sets and inversion approaches. Rupture models are obtained by solving an inherently ill-posed inverse problem, subject to numerous a priori assumptions and noisy observations. Despite these limitations, near real-time source inversions are becoming increasingly popular, while we still face the dilemma that uncertainties in source inversions are essentially unknown. Yet, the accurate estimation of earthquake rupture properties, including proper uncertainty quantification, is critically important for earthquake seismology and seismic hazard analysis, as they help to adequately characterize earthquake complexity across all scales.

The "Source Inversion Validation" (SIV) project (<http://equake-rc.info/sivdb/wiki>), a collaborative international multi-institutional effort, attempts to quantify the intra-event variability in rupture models (see for example the SRCMOD database, <http://equake-rc.info/srcmod>), and to propose robust uncertainty metrics for earthquake source inversions. The SIV efforts include a rigorous testing platform to examine the current state-of-the-art in earthquake source inversion (<http://equake-rc.info/sivdb>), and to develop and test novel source inversion approaches. In this presentation, we will summarize initial SIV results related to previous benchmark exercises, discuss the latest findings for a test case of a complex rupture embedded in a 3D heterogeneous Earth model, and propose metrics to quantify rupture-model variability, quality of data fitting, and model robustness

*Seismic implications of the kinetics of the reaction perovskite + ferropericlase = ringwoodite*

**Lessing, S.\*<sup>1</sup>, Dobson, D.P.<sup>2</sup>, Cobden, L.<sup>3</sup>, Rost, S.<sup>4</sup>, Thomas, C.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms Universität Münster, Münster, Deutschland, <sup>2</sup>Department of Earth Sciences, University College London, London, UK, <sup>3</sup>Department of Earth Sciences, Utrecht University, Utrecht, Niederlande, <sup>4</sup>School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, UK

Kinetics of the mantle transition zone phase transitions/mineral reactions may give insights into the density structure and rheology of subducting slabs or mantle plume regions. The effect of kinetics in mantle up- and downwellings on the seismic structure has not been investigated in detail and would add further constraints on mantle dynamics. Here we study whether and how the effects of reaction kinetics can be resolved with PP and SS precursors in mantle upwellings. PP or SS precursors are underside reflections of P- or S-waves off the discontinuities, halfway between the source and the receivers. We use data from kinetic experiments of the reaction of perovskite and ferropericlase to ringwoodite and combine them with thermodynamic calculations to obtain the seismic structure of kinetically inhibited mineral assemblages. The kinetic data show sensitivity to grain size and upwelling rate. From the profiles of density, P wave and S wave velocity, we calculate 1D synthetic seismograms for a range of dominant frequencies. We analyse the frequency dependence of the amplitudes and traveltimes residuals of the reflected waves. The synthetic modelling shows that kinetic inhibition of the backward reaction of ringwoodite, i.e. the recombination of perovskite + ferropericlase to ringwoodite, affects the amplitudes of PP and SS underside reflections, showing larger amplitudes for shorter periods due to the finite depth interval where the kinetic inhibition occurs. Thus the frequency dependency of PP and SS precursor amplitudes can be a probe to investigate regions of mantle upwellings and to further constrain grain size in the mantle.

## UI Umwelt- und Ingenieurgeophysik

### Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-1.001

*The acoustic fingerprint of sediment bedload transport : Application of a new methodology in quantitative fluvial geomorphology.*

**Barrière, J.**<sup>\*1, 2</sup>, **Oth, A.**<sup>2</sup>, **Krein, A.**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>National Museum of Natural History, Department of Geo/Astrophysics, L-7256 Walferdange, Luxembourg,

<sup>2</sup>European Center for Geodynamics and Seismology, Walferdange, Luxembourg, <sup>3</sup>Public Research Centre Gabriel Lippmann, Department of Environment and Agro-Biotechnologies, L-4422 Belvaux, Luxembourg

Nowadays, a better and reliable characterization and quantification of bedload transport is needed to gauge the environmental issues related to the dynamics of rivers. In the last decade, vibration measurements performed with plate or pipe geophone/hydrophone systems have been of growing interest for bedload transport monitoring since they allow performing high temporal resolution records. Our set-up is constituted by a piezoelectric hydrophone acting as a "sediment vibration sensor" in contact with a steel plate located on the streambed. With such an apparatus, the signal processing is generally reduced to power spectral analysis or impact counting.

However, a large amount of useful information is contained in the waveform of the impact signal, which conveys the force and the contact time that the bedload imposes on the plate. The wave amplitude is not well constrained because it varies a lot with changing impact location and velocity. The wave frequency is a more relevant parameter, less sensitive to these variables. According to the Hertz contact theory the frequency of the first signal arrival (flexural wave) is directly proportional to the bed-material grain size. Then, an appropriate analysis of the frequency attributes (central frequency, modulation) is needed to estimate the size of bedload particles. In this way, we have developed a complete processing algorithm based on a high dimensional decomposition method (chirplet transform) to get an accurate estimation of the first arrival frequency content. Results on summer flood events in a lowland river show that portion of coarser and finer sediments are well identified by their corresponding central frequencies, allowing for the observation of the temporal variability in bedload transport. Such a processing is promising in view of quantifying processes of bedload transport and deposition in rivers. Beyond the characterization aspects, this signal decomposition method is also a key to an effective compact signal representation, useful to elaborate a long-term continuous monitoring.

Acknowledgments:

This study is supported by the National Research Fund, Luxembourg (BEDLOAD C11/SR/1158445).

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-1.002

### *Salzhaldentomographie - Geophysikalische Untersuchungen und Modellierungen für die Schwachstellenanalyse einer Kalirückstandshalde*

**Dünnbier, K.<sup>\*1</sup>, Schicht, T.<sup>2</sup>, Thiemann, K.<sup>2</sup>, Confal, J.<sup>1</sup>, Börner, F.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Angewandte Geowissenschaften, TU Berlin, Berlin, Deutschland, <sup>2</sup>K-UTEC AG Salt Technologies, Abteilung für Geophysik, Sondershausen, Deutschland

Von 1903 bis 1996 wurde in Thüringen bei Bleicherode Kali- und Steinsalz später Bischofit gefördert. Heute ist es ein Versatzbergwerk. Als Ergebnis von Bergbauaktivitäten auf Kali- und Steinsalz entstehen sogenannte Rückstandshalden aus Bergmassen oder zwischengelagerten Wertstoffen. Diese Halden können mehrere Hektar Grundfläche haben und über 100 m hoch werden. Innerhalb der Halden kommt es unvermeidbar zu Setzungen, Auslaugungs- sowie Stoffumwandlungsprozessen, die eine Gefährdung der Stabilität und somit für die Umwelt und den Menschen darstellen. Der innere Aufbau ist daher von besonderem Interesse für die Einschätzung der Haldenstabilität.

Neben Gefügeparametern und mineralogischen Eigenschaften wurden die physikalischen Eigenschaften der künstlichen Aufbereitungsrückstände mittels systematischer Experimente und Prozessuntersuchungen analysiert. Dabei musste auf die besonderen Eigenschaften des Materials Rücksicht genommen werden. Zudem wurden großflächige geophysikalische Messungen an der Testhalde in Bleicherode durchgeführt, welche sowohl tomographische Verfahren wie Geoelektrik und Seismik als auch SIP und NMR mit einschlossen. Durch anormale Festigkeiten, Durchlässigkeiten und Wassergehalte sollen Schwächezonen innerhalb der Halde erkannt werden. Ziel ist es, eine an die spezifischen Eigenschaften des Haldenmaterials angepasste Verfahrenskombination zu entwickeln, um nutzbare Kennwertverteilungen zu erhalten.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-1.003

### *Detektion verlassener Bergbaustrukturen mithilfe von VLF-Grad und RMT*

**Gurk, M.<sup>\*1</sup>, Bosch, F.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, <sup>2</sup>RWTH Aachen, Applied Geophysics and Geothermal Energy E.ON Energy Research Center, Aachen, Deutschland

Verlassene Bergbaustrukturen aus dem 19. und 20. Jahrhundert stellen ein großes geotechnisches Risiko in städtischen Gebieten dar. So sind z.B. die Sicherungsmaßnahmen bei Verlassen der Anlage nach Jahrzehnten verrottete und die gesamte Struktur droht einzubrechen - mit der Konsequenz von Schäden an Infrastruktur und Bauwerken an der Oberfläche. Die exakte Lage und der Zustand von Schächten und Stollen ist allgemein weitestgehend unbekannt.

Die von uns untersuchten Bergbauschächte, Bunkeranlagen und Luftschutzstollen im Raum Aachen und Düren befinden sich in ca. 5-12 m Tiefe. Der Querschnitt der Schächte liegt bei etwa einem Meter, die der Stollen bei 3-4 m. Für eine solche Erkundungsaufgabe werden hochauflösende und schnelle Kartierungsmethoden benötigt, die uns elektromagnetische Verfahren im Radiofrequenzbereich (RMT, VLF und VLF-Grad) bieten. Die VLF-Grad Methode ist eine Weiterentwicklung der klassischen VLF Technik. Die Methode bietet bodenkontaktlose Messungen mit einer verbesserten Auflösung der lateralen Leitfähigkeitsverteilung und wird zur schnellen Kartierung der Verdachtsflächen eingesetzt. Ist die projizierte Lage der Bergbaustruktur an der Oberfläche durch VLF-Grad ermittelt, so erfolgt anschließend gezielt eine Tiefenabschätzung der Strukturen mithilfe von 2D Inversionen aus RMT Daten.



## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-2.001

### *Eingebettete Ultraschall-Sensoren zur Dauerüberwachung von Betonbauteilen*

**Wolf, J.\*, Mielentz, F., Wiggenhauser, H.**

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland

Ingenieurbauwerke aus Beton, die besonderen Belastungen ausgesetzt werden oder in tektonisch aktiven Gebieten stehen, erfordern eine dauerhafte, bevorzugt zerstörungsfreie Überwachung. Es ist erforderlich den Zustand des Bauwerkes zu bestimmen um entstandene Schäden frühzeitig zu identifizieren und zu klassifizieren, um Reparaturen vor dem endgültigen Versagen durchführen zu können. Bisher ist es üblich für die Langzeitüberwachung von strukturellen Betonbauteilen mit Ultraschall externe Sensoren zu nutzen, was oft genug zu Problemen durch schlechte und inkonstante Sensorankopplung führt. Eingebaute Ultraschall-Sensoren bieten die Möglichkeit Störungen vom Bauteilinneren zu untersuchen, auch in Gebieten welche schwierig oder unmöglich von der Oberfläche aus zu erreichen sind.

Im Gegenteil zu herkömmlichen Ultraschall Untersuchungen, wo die Betonoberfläche mit Ultraschall-Sensoren abgetastet wird, bietet die vorgestellte Ansatz die Möglichkeit Sensoren fest im Betonbauteil einzubetten. Dadurch werden die Signale weniger durch Übergänge an Grenzflächen beeinflusst. Das gesamte Volumen des Bauteils kann durch sich kreuzende Wellenzüge untersucht werden. Diese Methode ermöglicht eine abdeckende Überwachung von Betonbauteilen um zum Beispiel mechanische Einwirkungen zu detektieren oder Schwächungen im Material durch Überbeanspruchung durch, zum Beispiel, seismische Aktivität. Solche Methoden sind wichtig für die Bewertung von Brücken- und Tunnelkonstruktionen, offshore Bauwerken, sowie anderen Gebäuden mit hohen sicherheitstechnischen Anforderungen.

Mit einem Netzwerk aus eingebetteten Ultraschall-Sensoren kann eine schnelle Einschätzung struktureller Schäden möglich sein. Die Ergebnisse können zur Beurteilung der aktuellen Stabilität eines Bauwerkes hinzugezogen werden. Eine auf ein Sensornetzwerk aufbauende automatisierte Überwachung kann so eingerichtet sein, dass eine Warnung geben wird, wenn das Bauwerk nicht mehr sicher zugänglich ist.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-2.002

### *Geophysikalische Erkundungen zur Rohstoffabschätzung stillgelegter Bergbauhalden*

**Martin, T.<sup>1</sup>, Knieß, R.<sup>1</sup>, Noell, U.<sup>1</sup>, Kuhn, K.<sup>2</sup>, Günther, T.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Geophysikalische Erkundung - Technische Mineralogie, Hannover, Deutschland, <sup>2</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe, Hannover, Deutschland, <sup>3</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), S2 Geolektrik und Elektromagnetik, Hannover, Deutschland

Im Rahmen des vom BMBF geförderten r<sup>3</sup>-Verbundprojektes ROBEHA werden stillgelegte kleinräumige Bergbauhalden im Westharz u.a. geophysikalisch untersucht. Projektziel ist die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Wiederaufbereitung und Verwertung der möglichen Haldenreststoffe. Dazu fanden Messungen an einer Pochsandhalde im Harz statt. Die bisher eingesetzten Verfahren waren Geoelektrik, Radar und SIP (Spektral Induzierte Polarisierung). Innerhalb zweier Messkampagnen wurde die Halde aufwendig geoelektrisch untersucht. Entgegen den Erwartungen konnte dabei festgestellt werden, dass sich die aufgeschütteten Pochsandreste gegenüber dem Basement als höherohmige Bereiche darstellten. Mithilfe einer dreidimensionalen Auswertung konnte eine Abschätzung vorgenommen werden, wie viel Haldenmaterial zur potenziellen Verwertung vorhanden ist. Zusätzliche SIP-Profile zeigen, dass die höherohmigen Bereiche mit den Zonen sehr niedriger Phasenverschiebungen korrelieren. Trotz der mineralogisch nachgewiesenen hohen Blei- und -Bariumgehalte (6-10%) erscheinen die Pochsandreste als nicht bzw. sehr gering polarisierbar. Gründe dafür werden im Labor untersucht (Beitrag II: Laboruntersuchungen zur komplexen Leitfähigkeit an Metall-Quarzsand-Gemischen). Mithilfe der Radardaten, die mit einer 200 MHz-Antenne aufgenommen wurden, konnten oberflächennahe Schichtgrenzen detektiert werden. Diese unterschiedlichen Schichtgrenzen sind vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Halde nicht in einem Durchgang angelegt wurde, sondern in mehreren, jährlich getrennten Schritten.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-2.003

### *Seismic time-lapse travel-time and attenuation tomography to characterize changes of the excavation damaged zone around underground galleries*

**Krauß, F.<sup>\*1,2</sup>, Buske, S.<sup>2</sup>, Alexandrakis, C.<sup>2</sup>, Giese, R.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Helmoltz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Wissenschaftliches Bohren, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, Deutschland

In the GFZ-Underground-Lab within the research and education mine "Reiche Zeche" of the Technical University Bergakademie Freiberg two high resolution seismic transmission surveys were performed in 2009 and 2012. The lab is situated in gneiss rocks at 150 m depth and comprises three galleries which enclose an area of approximately 50 m x 100 m. The seismic source was a vibrator, comprising two magnetostrictive actuators. Accelerometer sensors, integrated in the coupling stamps of the source, were used for steering and synchronization of the signal amplitudes and phases. The source signal was a linear sweep with signal frequencies ranging from 300 Hz to 3000 Hz in 2009 and 150 Hz to 3000 Hz in 2012. The seismic wave field was recorded at 29 three-component geophones installed in one or two meter deep boreholes with spacing intervals of four to nine meters along the galleries. For both measurements, travel-time and attenuation tomographies for P-waves were performed with the ray-based inversion algorithm SIMULPS14. The seismic velocities were calculated from first-arrival travel times and a logarithmic-spectral-ratio approach was used to calculate the corresponding quality factors (Q) for attenuation tomography. The travel-time tomography of the 2009 dataset reveals an average P-wave velocity of 5.64 km/s and a low velocity zone with velocities of about 5.0 km/s. This low velocity zone correlates with mapped fracture zones along the galleries. The attenuation tomography of the 2009 dataset reveals an average Q-value of around 30 and low Q-values of 10-20 along the galleries. Both, the velocity and the attenuation model, calculated from the 2012 dataset, show a decrease of average P-wave velocity values from 5.64 km/s to 5.54 km/s and of average Q-values from 29.8 to 26.5 in the whole area after the excavation of new cavities. Even if the change of the average P-wave velocity is small, significant local changes within the 2D velocity models are visible. The maximum changes are located at already weakened zones either at the conjunction of two galleries or at a major fracture zone with a gallery. The attenuation tomography shows a higher sensitivity to rock mass changes than the travel-time tomography. However, the calculation of the Q-values demands a higher signal quality than the determination of the seismic travel times.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-2.004

### *Anwendung der Reverse Time Migration auf Ultraschall-Echo-Messungen in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen*

**Müller, S.<sup>\*</sup>, Niederleithinger, E.**

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland

Ultraschall-Echo-Messungen dienen im Bauwesen zur Dickenbestimmung von Bauteilen sowie der Lokalisierung und Charakterisierung von Einbauteilen, Einlagerungen und anderen Inhomogenitäten. Zur Migration (in der Ultraschalltechnik als Rekonstruktion bezeichnet) werden bisher Verfahren wie z.B. 3D-SAFT (Synthetic Aperture Focusing Technique, ähnlich der Pre-Stack Kirchhoff-Migration) genutzt. Diese verarbeitet aber nur primäre Reflexionen am Abbildungsobjekt korrekt. Deshalb können keine zuverlässigen Aussagen über den Durchmesser von eingebauten Spannkänen oder Seitenkanten von Objekten getroffen werden. Ziel laufender Forschungsarbeiten ist es, die Abbildungsqualität zu verbessern. Mit der aus der Geophysik stammenden Reverse Time Migration, die bereits häufig in der Erdölexploration genutzt wird, lassen sich auch steilere Strukturen über 70° abbilden und somit auch die Unterseite von Einbauten oder Stufen in Bauteilen darstellen.

Mit Simulationsrechnungen wurde die Leistungsfähigkeit des Algorithmus für die zerstörungsfreie Prüfung untersucht. Daran schließen sich nun Ultraschall-Echo-Messungen an einem Polyamidprobekörper an, an dem die Simulationsergebnisse mit rauscharmen Ultraschalldaten überprüft werden können. In einer Messreihe wurde in den Probekörper eine Bohrung eingebracht und schrittweise vergrößert. Dabei konnte die Bohrung in vollem Umfang abgebildet werden. In einer ersten Fehlerabschätzung liegt die Abweichung zum wahren Durchmesser unter 10 %. Des Weiteren lassen sich auch die Rückwand und die Seitenwände

des Probekörpers klar abbilden. Damit konnten die Vorzüge der Reverse Time Migration auch an realen Ultraschalldaten nachgewiesen werden.

## UI Umwelt- und Ingenieurgeophysik Poster

### Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.001

*Akustische Emissionen im Sandstein Proben induziert durch Porenwasserdruckänderungen*

**Mayr, S.\*, Fußek, F.-J., Shapiro, S.A.**

FR Geophysik, Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Das Verständnis für die Auslösemechanismen von Mikroseismizität bei der Injektion von Fluiden in Gesteinen spielt sowohl in der Geothermie als auch in der CO<sub>2</sub>-Sequenzierung eine wichtige Rolle. Der Porenwasserdruck beeinflusst hierbei wesentlich das Spannungsfeld innerhalb des Gesteins. Mithilfe von Labormessungen zeigen wir, welchen Einfluss die Änderung des Porenwasserdruckes auf die räumlich-zeitliche Verteilung von Akustischen Events hat. Die bei diesen Untersuchungen verwendeten Lokalisationen stammen von Experimenten mit zwei vollgesättigten Flechtinger Bausandstein Proben. Unter triaxialen Stressbedingungen wurde in aufeinanderfolgenden Zyklen Wasser bis zum finalen Bruch der Proben injiziert. Zur Analyse der AE berechneten wir für verschiedene Porenwasserdrücke Triggering-Fronten und untersuchten deren Beziehung zu den Akustischen Events, die in den Gesteinsproben lokalisiert wurden. Als Ergebnisse dieser Untersuchungen konnten wir die Bruchausbreitung innerhalb der Probe genauer nachvollziehen sowie eine dynamische Veränderung der Brucheigenschaften des Gesteins, verursacht durch die Injektion von Fluiden, nachweisen.

### Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.002

*Untersuchung zeitlicher Variationen geophysikalischer Parameter im Umfeld natürlicher CO<sub>2</sub>-Entgasungen*

**Sauer, U.<sup>1</sup>, Schütze, C.\*<sup>1</sup>, Sandig, C.<sup>1</sup>, Serfling, U.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ, MET, Leipzig, Deutschland, <sup>2</sup>GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH, Leipzig, Deutschland

Die Evaluierung potentieller Monitoringtechniken für die Überwachung der Integrität von geologischen Formationen für die Einrichtung von Gasspeichern ist ein wesentlicher Bestandteil der Forschung im Rahmen der Weiterentwicklung der Carbon Capture and Storage (CCS) Technologie. Neben Pilotanlagen (z.B. in Ketzin) und gezielten Freisetzungsversuchen (z.B. ZERT Testgelände Montana State University) bieten auch natürliche CO<sub>2</sub>-Entgasungsgebiete, wie z.B. Lateral / Italien oder Egerbecken / Tschechische Republik, die Möglichkeit ablaufende Migrationsprozesse zu untersuchen sowie adäquate Monitoringkonzepte zu entwickeln und zu testen. Im Rahmen eines BMBF geförderten Forschungsprojektes (FKZ: 03G0785A) werden verschiedenartige Überwachungsmethoden für den oberflächennahen Bereich kombiniert und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf CCS-Standorte bewertet. Seit 2009 kommen neben großskaligen Messmethoden zur Überwachung der Atmosphäre am Untersuchungsstandort Egergraben geophysikalische Verfahren in Kombination mit bodengasanalytischen Methoden auf mittlerer und Punktskala zum Einsatz. Insbesondere die oberflächen-nahe geologische Situation sowie meteorologische / saisonale Einflüsse haben großen Einfluss auf das Entgasungsverhalten an den natürlichen CO<sub>2</sub>-Entgasungsgebieten (Flux, Bodengaskonzentration). Begleitende geophysikalische Messkampagnen (Geoelektrik, Seismik, Elektromagnetik) spiegeln anhand der veränderlichen geophysikalischen Parameter diese unterschiedlichen Bodengassituationen wider. Mittels komplexer Interpretation der Parametergesamtheit ergibt sich ein umfassenderes Bild hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Entgasungsmustern und geophysikalischen Anomalien. So können anhand der geophysikalischen Daten Veränderungen in den oberflächennahen Sedimentschichten als auch variable Bodenfeuchteverteilung aufgezeigt werden, welche die starken Schwankungen in den gemessenen Bodengasverhältnissen erklären können. Derartige standortspezifische Zusammenhänge lassen sich allerdings nur durch periodisch

wiederholte Untersuchungen über einen längeren Zeitraum mit verschiedenen saisonalen Bedingungen nachweisen, um folglich Anforderungen an tragfähige Monitoringkonzepte für CCS-Standorte abzuleiten.

### **Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.003**

#### *Site-adapted nitrogen management based on subarea specific data processing*

**Oberender, T.\*<sup>1</sup>, Lück, E.<sup>1</sup>, Rühlmann, J.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Angewandte Geophysik, Potsdam, Deutschland, <sup>2</sup>Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau, Großbeeren, Deutschland

The basic idea of precision farming is to replace the traditional uniform treatment of a whole field by a non-uniform treatment according to site-specific conditions for optimizing crop yield and for reducing environmental impact. This requires spatial information about the soil, models of nutrient supply and plant growth, modern information and communication technologies and finally modern agricultural technologies such as GPS technology, variable-rate controllers and yield monitors. The aim of our joint research project is to develop a technique of the site-adapted nitrogen management based on new scientific insights and to introduce it in agricultural practice on two test sites in Saxony Anhalt - Görzig and Seyda. Within several working groups different technologies will be developed, provided and finally combined:

1. Imaging the in-field variability of the soil with the GEOPHILUS-system in combination with soil sampling and historical soil maps (University of Potsdam, IGZ Großbeeren).
2. Simulation of Carbon and Nitrogen Dynamics with the model CANDY on the base of data for soil, management and climate (UFZ Halle).
3. Generating decision rules for site-specific nitrogen fertilization with modern information technologies like Artificial Neuronal Networks (University of Halle).
4. Data management for a web-supported data portal (UMGEODAT) and the in-field-controller, which is located on the tractor (geo-konzept)

Our subproject "Digital soil parameter maps - inversion and cluster tools" deals with collecting, analyzing and processing data from the multi sensor platform GEOPHILUS. This includes resistivity data at 5 depth levels up to 1.5 meters, a total count of Gamma radiation and elevation data. Inversion routines will be used to transform measured electrical data into 3-dimensional resistivity models. Tools of cooperated data analysis and interpretation will be developed to optimize the interpretation of soil sampling. Applied cluster analysis will result in soil classification maps as fundamental basis for management zones.

### **Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.004**

#### *Chemical state profiling in the vadose zone by in situ-obtained soil colours*

**Hausmann, J.\*<sup>1</sup>, Werban, U.<sup>1</sup>, Dietrich, P.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>UFZ - Helmholtz-Centre for Environmental Research, Department Monitoring and Exploration Research, Leipzig, Deutschland, <sup>2</sup>Eberhard Karls Universität Tübingen, Fachbereich Geowissenschaften, Tübingen, Deutschland

Characterizing the vadose zone is of broad interest in certain fields of science. Direct push rigs and methods recently have seen a broad development providing several tools for *in situ* parameterisation of unconsolidated sediments. For chemical state profiling, physical parameters that reveal to sediment properties, e.g., electrical conductivity, are typically used. For depth determination of oxidative/reductive conditions, however, *ex situ* colour analysis of cored samples is well known. We show that direct push-based *in situ*-obtained soil colour yields information about the chemical state, interpreting high-resolution colour data as a soil proxy.

The colour logging tool SCOST by Dakota Technologies contributes a new approach and data for site characterisation. However, interpreting colour log data as a single application remains challenging. Thus, additional information, such as site-specific prior knowledge of the geological setting, is required to accurately sort soil colour data into certain specific layers, a technique called 'ground-truthing'.

We present results from joint interpretation of *in situ*-obtained soil colour data and state-of-the-art direct push-based profiling tools. Giving an example, we exemplary discuss the additional benefit of such data for site characterisation in the vadose zone. The comparison of soil colour data to data from cone penetration

testing, soil sampling, soil moisture probing, and electrical conductivity logging helps to show that this data provides information on small-scale lithological changes, e.g., sand to clay; chemical states, e.g., oxidative and reductive conditions; and soil moisture, e.g., changes of the luminosity. Thus, the technique allows enhanced profiling by means providing another high-resolution parameter for analysis subsurface conditions. It is our intention to improve colour measurements by means method of application and data interpretation, useful to characterise stratigraphy, chemical state, soil moisture, etc. of the vadose zone. This opens potential new areas of application and new outputs for such data. Hence, this method has great potential to provide extra information characterising the vadose zone, especially for chemical profiling.

We performed the work in the framework of the MuSaWa project, kindly funded by the German Ministry of Education and Research (BMBF); grant 03G0745.

## **Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.005**

### *Calculation and uncertainty evaluation of geotechnical parameters obtained from mobile, direct push-based seismic cross-hole data*

**Hausmann, J.<sup>\*1</sup>, Rumpf, M.<sup>2</sup>, Werban, U.<sup>1</sup>, Paasche, H.<sup>1</sup>, Tronicke, J.<sup>2</sup>, Dietrich, P.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>UFZ - Helmholtz-Centre for Environmental Research, Department Monitoring and Exploration Research, Leipzig, Deutschland, <sup>2</sup>University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Science, Potsdam, Deutschland, <sup>3</sup>Eberhard Karls Universität Tübingen, Fachbereich Geowissenschaften, Tübingen, Deutschland

Knowledge of the spatial distribution of geotechnical parameters is essential for a thorough assessment of construction sites, e.g., for large building sites. Geotechnical parameters are usually pointwise measurements (1D), e.g., drill logs from a certain location. However, this data cannot reliably assess the natural heterogeneity due to the high spatial variability of such parameters in unconsolidated near-surface sediments. Thus, auxiliary geophysical methods and appropriate tomographic reconstruction techniques provide data and models, such as seismic velocities, that describe the distribution of physical parameters in 1, 2, and 3D.

We present results from a combined P- and S-wave cross-hole survey at an abandoned meander of the Mulde River. The experiment was performed at multiple temporarily boreholes. We used mobile direct push devices for installation. These rigs provide the flexibility to easily access different locations and investigations depths.

We present jointly inverted P- and S-wave velocity model ensembles that utilises a particle-swarm-optimisation approach. From the resulting models, we calculated geotechnical parameters (elastic moduli). The calculated quantiles (Q1-Q3) and the relative error allow us to evaluate the uncertainty of the data, e.g., relative error is high at layer boundaries. Additionally, we performed a set of direct push-driven vertically high-resolved soundings such as cone penetration testing and SONIC core sampling; used as 'ground-truthing' technique of the seismic results

As such, a reliable calculation of 2D high-resolution parameter distributions for geotechnical site assessment becomes possible. It is our intention to encourage the use of this technical development by means use of *in situ* prediction of geotechnical parameters and, especially, evaluating information uncertainty, which still remains a challenge when undertaking an objective (geotechnical) risk analysis. The results show that mobile combined P- and S-wave cross-hole tomography promises high potential to be a routine application for local-scale development site exploration.

We performed the work in the framework of the MuSaWa project, kindly funded by the German Ministry of Education and Research (BMBF); grant 03G0745.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.006

### *Torus-TEM - ein schwebendes Verfahren*

**Steuer, A.\*, Schildknecht, F., Noell, U.**

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Geophysikalische Erkundung - Technische Mineralogie, Hannover, Deutschland

Die Transienten-Elektromagnetik (TEM) wird häufig zur Grundwassererkundung in ariden bis semi-ariden Gebieten angewendet. Je nach Vegetation erschweren die unhandlichen Sendeantennen die Anwendung erheblich.

Im Projekt "Torus-TEM" soll ein mobiles Messsystem zur schnellen und kostengünstigen Durchführung von TEM-Sondierungen entwickelt werden. Kernelement ist ein torusförmiger Heliumballon, der als Trägersystem für eine TEM-Sendeantenne dient.

Bei herkömmlichen bodengebundenen TEM-Messungen wird für jede Einzelmessung eine quadratische Sendeantenne, typischer Weise mit Kantenlängen von 50-300 m Metern, auf der Erdoberfläche ausgelegt. Nach der Sondierung an einer Messstation müssen sämtliche Apparaturen wieder abgebaut, in einem Fahrzeug verstaut und einige hundert Meter weiter zum nächsten Messpunkt gefahren werden. Dieses Procedere ist aufwendig und körperlich anstrengend. Je nach Gegebenheiten können so nicht mehr als bis zu zehn Sondierungen pro Tag durchgeführt werden, obwohl eine Messung nur wenige Minuten dauert.

An der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wird zurzeit ein Verfahren entwickelt, das diese Schwierigkeiten beheben soll. Beim "Torus-TEM"-Konzept entfällt der aufwendige Messaufbau. Der torusförmige Heliumballon hebt die Sendeantenne und die kleinere Empfangsantenne einige Meter in die Luft. Der Ballon wird mit einem System von Leinen zwischen zwei Geländewagen gespannt, die in einem festen Abstand hintereinander herfahren. Die zur Messung notwendigen Geräte, wie Sender, Empfänger und Stromversorgung, bleiben in den Fahrzeugen. Das Gespann braucht für eine Messung nicht einmal anzuhalten. Während einer Messkampagne kann der Ballon in der Luft bleiben. Nachts wird er mit Pflöcken und Sandsäcken fixiert. Für Messungen auf Seen oder Flüssen können statt Geländewagen Boote eingesetzt werden.

Das System befindet sich zurzeit noch in der Erprobungsphase und muss praxistauglich gemacht werden.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.007

### *Petrophysikalischer Technikumsversuch und geophysikalische Tomographie von Kalirückstandshalden*

**Confal, J.\*<sup>1</sup>, Dünnbier, K.<sup>1</sup>, Schicht, T.<sup>2</sup>, Thiemann, K.<sup>2</sup>, Börner, F.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Angewandte Geowissenschaften, Angewandte Geophysik, TU-Berlin, Berlin, Deutschland, <sup>2</sup>K-UTEC GmbH, Sondershausen, Deutschland

Auf der Kalirückstandshalde in Bleicherode, Thüringen wurden geoelektrische und refraktionsseismische Messungen durchgeführt. Ziel ist es, den Aufbau und die Einsturzgefährdung der anthropogen aufgeschütteten und natürlichen Prozessen unterliegenden Kalirückstandshalde zu untersuchen.

Das Abfallmaterial, das während des Betriebes der Salzmine in Bleicherode abgelagert wurde, besteht aus Anhydrit, Gips und Halit. Das ausgewaschene lockere Material, das die obersten Meter ausmacht, besteht hauptsächlich aus Anhydrit, während das verfestigte darunterliegende Material aus 80 % Halit besteht. Die Übergangszone zwischen den beiden Schichten ist mit den Feldmessungen nicht auflösbar, deshalb wurde ein Technikumsversuch veranlasst, um die Übergangszone von der lockeren zur verfestigten Schicht abbilden zu können. Dazu wurde der elektrische Widerstand sowie die P-Wellengeschwindigkeit mittels Ultraschall an einem zylindrischen sowie einem quadratischen Versuchsaufbau gemessen. Es konnte gezeigt werden, dass bei Zugabe von Wasser das Salz herausgeschwemmt wird und sich das durch einen deutlichen Anstieg des Widerstandes auszeichnet. Das gelöste Salz wird mit dem Sickerwasser abwärts transportiert und senkt zunächst den elektrischen Widerstand des Materials. Daraufhin kommt es durch Übersättigung zur Auskristallisation von Salz im Porenraum, kann der Widerstand wieder ansteigen.

Die Ergebnisse der petrophysikalischen Untersuchungen und des Technikumsversuchs können für die Erstellung eines Modells mit einer Joint-Inversion der Geoelektrik und Refraktionsseismik verwendet werden.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.008

### *Hangcharakterisierung zur Identifizierung typischer funktionaler Einheiten mit Hilfe von Geoelektrischer Tomografie und VES*

**Feskova, T.\*<sup>1</sup>, Dietrich, P.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Monitoring und Erkundungstechnologien (MET), Leipzig, Deutschland, <sup>2</sup>Eberhard Karls Universität Tübingen, Fachbereich Geowissenschaften, Tübingen, Deutschland

Die Hypothese des multidisziplinären CAOS-Projektes (Catchments As Organised Systems, <http://www.caos-project.de>) besagt, dass sich eine Landschaft (z. B. Flusseinzugsgebiet) als organisiertes System beschreiben lässt. Über einen sehr langen Zeitraum bilden sich typische Muster und Strukturen aus, die in sogenannte funktionale Einheiten gegliedert werden können. Ziel ist es, dieses repräsentative Muster zu finden, zu parametrisieren und auf größere Skalen zu projizieren. Zur Validierung dieser Hypothese wird das Attert Flusseinzugsgebiet untersucht, welches im Westen von Luxemburg in der Kontaktzone zwischen dem östlichen Ardennen Schiefermassiv (Ösling) und dem Pariser Sedimentbecken liegt.

Mit geophysikalischen Methoden wollen wir typische funktionale Einheiten des Attert Einzugsgebiets charakterisieren. Da Hänge eine hydrologische Benetzung auf Einzugsgebietsskala fördern, konzentrieren wir uns auf die Hangskala. Außerdem ist die Anwendung geophysikalischer Methoden auf einem Hang als Längs- und Querprofilreihen besser geeignet. Auf der Hangskala wollen wir eine geeignete Methode zur Identifizierung eines typischen Musters entwickeln. Diese Methode soll zukünftig auf Einzugsgebietsskala angewendet werden. Wir nehmen an, dass die Architektur des Untergrunds eine entscheidende Rolle bei der Bildung eines Einzugsgebiets spielt und einen Einfluss auf die Wahl einer einzelnen funktionalen Einheit hat. Wir entschieden uns, geoelektrische Tomografie (ERT) und vertikale elektrische Sondierung (VES) anzuwenden. Damit wollen wir die Vorteile und Nachteile beider Methoden zeigen. Durch die Anwendung von ERT entlang des Hanges können laterale Strukturen gut aufgelöst werden. Durch den Einsatz von VES quer zur Falllinie des Hanges werden Tiefengrenzen scharf abgebildet, und es lässt sich eine Aussage über die Heterogenität des Hanges in beide Richtungen von der Falllinie des Hanges machen. Die Kombination beider Methode zeigt ein klares Abbild des Untergrundes und soll repräsentative Bereiche auf dem Hang lokalisieren.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.009

### *Geophysikalische Eigenschaften hölzerner Fundamentpfähle aus dem Stadtgebiet von Berlin*

**Jonas, O.\*, Ballhause, T., Rücker, C., Börner, F.**

TU Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland

Eine zunehmende Urbanisierung erfordert umfangreiche innerstädtische Tiefbaumaßnahmen, für die das Problem des rechtzeitigen Auffindens von historischen Brunnen aus Holz und Holzpfehlgründungen, die bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts zur Gründung von Fundamenten in Gegenden mit einem hohen Grundwasserspiegel dienten, besteht.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit war zu prüfen, inwieweit geophysikalische Verfahren geeignet sind, diese Störobjekte im urbanen Untergrund zu orten. An der TU Berlin wurden dazu an geborgenen hölzernen Gründungspfählen aus dem Innenstadtgebiet von Berlin geophysikalische Messungen im Technikumsmaßstab durchgeführt. Dabei kamen Verfahren der Geoelektrik, der Seismik und Georadarverfahren zum Einsatz, mit dem Ziel, den spezifischen elektrischen Widerstand, die p-Wellengeschwindigkeit, die Dielektrizitätskonstante sowie daraus abgeleitet die Dichte und die Porosität der Holzpfähle zu bestimmen. Es konnten Anisotropien, mittlere Werte als auch die Bandbreite der relevanten geophysikalischen und "petrophysikalischen" Parameter ermittelt werden. Ein Vergleich mit den Parametern des umgebenden Bodenmaterials im Innenstadtgebiet von Berlin lieferte neue Erkenntnisse über die Einsatzmöglichkeiten geophysikalischer Verfahren zur Ortung von hölzernen Fundamentpfählen und ähnlichen Objekten im oberflächennahen Untergrund.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.010

### *Bestimmung der Geometrie einer Fundamentplatte mit dem Ultraschall-Echo-Verfahren unter Anwendung geophysikalischer Migrationsmethoden*

**Grohmann, M.<sup>\*1</sup>, Niederleithinger, E.<sup>1</sup>, Buske, S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland, <sup>2</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Das Ultraschall-Echo-Verfahren ist eine klassische zerstörungsfreie Prüftechnik zur Bestimmung der Geometrie von Bauteilen. Die wesentlichen Prüfaufgaben beinhalten unter anderem die korrekte Dickenbestimmung der Baukonstruktionen sowie die Lokalisierung von Einbauteilen und Fehlstellen. Der aktuelle Stand der Technik bei den Abbildungsverfahren ist die SAFT-Rekonstruktion (Synthetic Aperture Focusing Technique). Diese Gruppe von Verfahren weist bei der Darstellung von steilen Grenzflächen und komplizierten Strukturen, wie beispielsweise Stufen oder Unterkanten von Hohlräumen und Hüllrohren, systembedingt Grenzen auf. Als Alternative werden seit einiger Zeit geophysikalische Migrationsmethoden evaluiert. Am Beispiel eines Stahlbetonfundamentes mit verschiedenen Bewehrungsgehalten, unterschiedlichen Dicken sowie zwei Pfahlköpfen wurden die Kirchhoffmigration und die Reverse-Time-Migration (RTM) getestet.

Der Algorithmus der strahlenbasierten Kirchhoffmigration ähnelt dem der SAFT-Rekonstruktion und basiert auf mehreren Vereinfachungen (z.B. Born-Approximation). Die RTM basiert auf der vollständigen Wellengleichung. Durch Kreuzkorrelation von zeitlich vorwärts- und rückwärtsmodellierten Wellenfeldern erzeugt die RTM die migrierte Abbildung. Für die Rückwärtsmodellierung werden die Messdaten der Empfänger als Quellsignale eingesetzt. Die Berechnungen sind im Vergleich deutlich aufwändiger.

In einem ersten Schritt wurden die Methoden an auf Basis der akustischen Wellengleichung generierten synthetischen 2D-Daten getestet. Im zweiten Schritt wurden reale Ultraschallmessdaten, die mit Scherwellenprüfköpfen an zwei zueinander senkrechten Linienprofilen an der Oberfläche der Fundamentplatte aufgenommen wurden, bearbeitet. Der Einsatz eines Scanners vereinfachte die Durchführung der Messungen.

Ein Vergleich der Migrationsergebnisse beider Profile mit den bisherigen SAFT-Ergebnissen zeigt, insbesondere für die RTM, eine deutliche Verbesserung in der Abbildung der Bauteilgeometrie. Senkrechte Kanten konnten dargestellt sowie die Lage und Struktur der Unterkante der Fundamentplatte exakter reproduziert werden. Grenzen bestehen noch bei der Darstellung der Pfahlköpfe, da die von dem zylinderförmigen Pfahl kommenden Signale verrauscht sind. Ursachen dafür sind u.a. die Bewehrung, Randeffekte sowie Mehrfachreflexionen an dem Pfahlschaft.

## Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.011

### *Einsatz geophysikalischer Verfahren zur Untersuchung einer holozänen Sedimentabfolge*

**Gerloff, I., Krüger, J., Grinat, M.<sup>\*</sup>**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Im Rahmen von zwei Diplomarbeiten im Studiengang Geowissenschaften an der Leibniz Universität Hannover, die im Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik angefertigt wurden (Krüger 2010, Gerloff 2013), sind verschiedene geophysikalische Bohrloch- und Laborverfahren auf ihre Eignung zur Untersuchung holozäner Sedimente anhand einer 15 m tiefen Kernbohrung bei Cuxhaven getestet und mit der geologischen Kernbeschreibung sowie mit Siebkornanalysen verglichen worden. Zum Einsatz kamen dabei Bohrlochmessungen, Messungen der Bohrkerne in einem Multi-Sensor Corelogger der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Gamma-Dichte, magnetische Suszeptibilität, elektrische Leitfähigkeit), Messungen mit dem NMR-Verfahren und der Laserdiffraktometrie sowie Messungen des spezifischen elektrischen Widerstandes und der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) an den Bohrkernen.

Siebkornanalysen, Laserdiffraktometrie und NMR-Messungen lieferten ähnliche hydraulische Leitfähigkeiten im Bereich  $10^{-4}$  m/s bis  $10^{-5}$  m/s, die zu den erbohrten Schichten (Schluff, Ton, schluffig-toniger Feinsand) passen. Die Bohrlochmessungen (Induction Log) und die Labormessungen des spezifischen elektrischen Widerstandes am Vollkern und in der Halbschale stimmen gut überein; sie zeigen im unteren Teil der Bohrung eine leichte Abnahme des spezifischen elektrischen Widerstandes bis auf etwa 10  $\Omega$  m. Diese wird



auf Salzwassereinfluss zurückgeführt, da die Korngrößenanalysen eine Abnahme des Ton- und Schluffanteils mit der Tiefe anzeigen. Hierzu passt auch, dass die Beträge der SIP-Phasenwerte z.B. bei 5.86 Hz zur Tiefe hin leicht abnehmen; diese liegen aber nur im Bereich von wenigen mrad und sind teilweise schlecht reproduzierbar. Bohrlochmessungen der magnetischen Suszeptibilität lieferten Werte, die mit der Tiefe nur geringfügig variieren. Die natürliche Gammastrahlung zeigte im Allgemeinen Werte unter 50 gAPI, Variationen werden vor allem durch Änderungen im Thoriumgehalt hervorgerufen, während der Kaliumgehalt nahezu konstant bleibt (0.8-1.5 Gew.-%). Messungen im Multi-Sensor Corelogger führen durch den geringen Messpunktabstand von 0.01 m zu einer höheren Auflösung als die Bohrlochmessungen und können somit kleinräumige Strukturen im Bohrkern wie Tonlinsen teilweise auflösen, werden jedoch durch Materialverluste an den Bohrkernenden beeinflusst.

## **Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.012**

### *Evolutionary Algorithms for inversion of magnetic resonance soundings jointly with DC/TEM resistivity soundings*

**Günther, T.\*, Akca, I., Müller-Petke, M.**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland

Evolutionary Algorithms can be used for geophysical inversion to find a global minimum of the objective function without dependency on a starting model and the risk of being trapped in a local minimum. Moreover, they have the advantage of producing a variety of models that fit the data within a given noise level. Typical methods are Genetic Algorithms (GA), Simulated Annealing (SA), Particle Swarm Optimization (PSO) or Ant Colonization Optimization (ACO). They can be further improved by classical Least Squares approaches yielding hybrid algorithms.

We use the proprietary Global Optimization toolbox from Matlab plus the free Python libraries DEAP and INSPYRED to compare the performance of methods for the inversion of Magnetic Resonance Soundings (MRS) using layered models. As resistivity controls the magnetic fields, resistivity soundings (direct current or transient electromagnetic) are usually conducted and can be separately or jointly inverted using identical layer boundaries. To avoid weighting two objective functions, a multi-objective joint optimization can be achieved using the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II). Result is a population whose best individuals form a Pareto front of models as a trade-off between the two methods. The shape of this curve can, in combination with individual inversions, also tell how the two underlying models are compatible with each other. Synthetic data are used to verify the used methodology and how much uncertainty and speed depends on the noise level. Moreover, we apply the method to soundings from the North Sea island Borkum and show that it agrees well with geology and classical inversion results plus giving insight into uncertainty.

## **Umwelt- und Ingenieurgeophysik UI-P.013**

### *Geophysical monitoring of leakages in shallow groundwater from a deep compressed air energy storage site*

**al Hagrey, S.A., Köhn, D.\*, Wiegers, C., Schäfer, D., Rabbel, W.**

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Deutschland

Renewable energy resources are intermittent and need a buffer storage to bridge the time-gap between production and demand peaks. The North German Basin has favorable conditions and a very large capacity for compressed air energy storage (CAES) in porous saltwater reservoirs and salt cavities. However, the injected CAES and even saltwater can seep along weak zones and fractures upwards and migrate into shallow groundwater aquifers. These gas and fluid phase leakages cause changes in the electrical resistivity, density and elastic moduli of these aquifers, and justify applications of geophysical techniques. Using numerical simulations we study here the feasibility of techniques of elastic full wave inversion FWI, electric resistivity tomography ERT, electromagnetic induction EMI and gravity in detecting these groundwater leakages in the underground of Northern Germany. A real geological formation in Northern Germany was chosen as a typical scenario. With help of the user interface PetraSim the geological data were imported into the simulation program TOUGH 2-MP (EOS3). A leakage rate of 1 kg/s compressed air was assumed for 10 years and the potential three dimensional spreading of gas in the formation was simulated. Analogously a

leakage of saltwater from deeper formations into the shallow aquifers was simulated for another geological structure. These hydrogeological leakage models are transferred in geophysical models using realistic parameterization prevailing in the North Germany Basin and adequate petrophysical laws. These models are used to generate synthetic datasets which in turn are reconstructed to reproduce the underground models. Results reflect the capability of geophysical techniques to detect and monitor these leakages. CAES leakages can be characterized by their resistivity highs and mass deficit, and saltwater intrusions by their resistivity lows and mass excess. The lower boundary value of detectability can be determined. Gravity and FWI methods are more sensitive to CAES plumes yielding stronger density contrast than saltwater intrusions, whereas ERT and EMI are more sensitive to the conductive saltwater than the resistive CAES.

#### Acknowledgements

This study has been carried out within the framework of ANGUS+ research project funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF).

## Autorenverzeichnis

(fett = Erstautor)

### A

Abakumov, I.	<b>MI-2.002</b>
Abdelfettah, Y.	<b>S4-4.001</b>
Abe, S.	<b>S4-P.006</b>
Adrian, J.	<b>GE-P.003</b>
Afanasjew, M.	EM-P.020
Agard, P.	SO-P.032
Akca, I.	UI-P.012
al Hagrey, S.A.	S2-1.003, S2-P.009, S2-P.011, <b>UI-P.013</b>
Alexandrakis, C.	S4-3.001, S4-P.008, <b>SO-2.001</b> , UI-2.003
Allroggen, N.	<b>EM-3.002</b> , <b>EM-P.002</b>
Altdorff, D.	<b>EM-1.003</b> , <b>EM-P.001</b>
Altenbrunn, K.	<b>S3-P.005</b>
Alvers, M.R.	<b>MI-1.001</b>
Ananev, V.	MI-P.007, SE-P.002
Andersen, J.	AR-1.002
Ansari, S.	EM-P.005
Arndt, N.	GD-1.001
Arndt, U.	<b>GO-P.019</b> , <b>GO-P.020</b>
Ashfaq Ahmed, K.	<b>SE-1.002</b>
Aster, R.	S2-P.005
Auster, H.-U.	MA-1.002, MA-1.003, MA-1.004
Avci, G.	<b>EM-P.013</b>

### B

Baasch, B.	MG-2.004
Bachschmid, M.	<b>SO-P.017</b>
Bailey, R.	<b>GO-P.022</b>
Bairlein, K.	<b>GE-1.003</b>
Ballato, P.	S2-P.007
Ballhause, T.	S4-P.003, UI-P.009
Barckhausen, U.	MG-1.002, <b>MG-2.003</b>
Baris, S.	SO-P.009
Barrière, J.	<b>UI-1.001</b>
Barth, A.	<b>SO-5.005</b>
Bartsch, C.	<b>MG-1.002</b>
Bartzke, G.	<b>MI-1.004</b>
Bauer, K.	S1-1.003, <b>SE-3.001</b> , SO-P.015
Bauer, S.	S2-P.011
Baumann, T.	<b>GD-1.004</b>
Baumann-Wilke, M.	<b>SE-P.008</b>
Becken, M.	EM-4.004, EM-P.001, <b>EM-P.003</b> , EM-P.010, EM-P.016
Becker, J.	S4-P.005
Becker, K.	<b>S1-1.003</b>
Behrmann, J.	SO-4.001
Beilecke, T.	<b>SE-2.002</b>
Ben-Zion, Y.	SO-P.011
Benisch, K.	S2-P.011
Berdermann, J.	EX-1.003
Bergers, R.	EM-4.002
Berndt, E.	<b>MA-P.006</b>
Beuchert, M.	GD-1.002
Binley, A.	GE-2.003

Bischoff, M.	S4-P.005, <b>SO-P.027</b>
Blanch, E.	SO-P.029
Blascheck, P.	<b>SO-2.004</b>
Bleibinhaus, F.	GD-P.003, GO-P.007, SE-4.003
Bloch, N.W.	<b>SO-2.002</b>
Blum, J.	GO-P.004
Bock, M.	MA-P.003
Bohlen, T.	S2-2.001, S2-2.005, S2-3.002, S2-P.001, S2-P.002, GO-P.012, GO-P.017, GO-P.018, MI-P.001, MI-P.002, MI-P.003, SE-3.003, SE-P.007, SO-7.004
Bohnhoff, M.	S4-1.005, S4-2.002, <b>SO-6.003</b> , SO-P.008, <b>SO-P.010</b> , SO-P.011, SO-P.028
Bosch, F.	UI-1.003
Bouman, J.	S3-3.002
Boxberg, M.S.	<b>S2-P.003</b>
Brandelik, A.	EM-4.001
Braun, T.	S4-1.003
Buform, E.	SO-P.029
Bulut, F.	S4-2.002, SO-6.003, SO-P.008, SO-P.010, SO-P.011
Bumberger, J.	S3-P.009
Buness, H.	S4-P.001, SE-2.003, SE-3.002, <b>SE-P.001</b>
Buske, S.	S4-3.001, S4-3.002, S4-P.008, GO-P.005, MI-P.004, SE-4.001, SE-4.002, SE-4.004, SE-P.004, SO-2.005, UI-2.003, UI-P.010
Butzer, S.	<b>S2-3.002</b> , S2-P.001, S2-P.002
Byock, J.	AR-1.002
Bär, M.	<b>S3-P.011</b> , S4-3.004, <b>EM-1.001</b>
Böhmer, B.	EM-P.016
Böniger, U.	EM-P.002
Bönnemann, C.	<b>SO-5.004</b>
Börner, F.	S4-P.003, GO-P.002, UI-1.002, UI-P.007, UI-P.009
Börner, J.	<b>S4-3.004</b>
Börner, R.-U.	S3-P.011, EM-3.003, EM-P.005, EM-P.012, EM-P.015, EM-P.019, EM-P.020, EM-P.021
Bücker, M.	GE-1.003, GE-2.005
Bürk, D.	<b>SO-P.021</b>
<b>C</b>	
Caka, D.	SO-P.009
Calo, M.	SO-2.001
Calvet, M.	S2-P.006
Candansayar, M.E.	GE-P.003
Catchings, R.D.	SE-3.001
Cavsak, H.	S3-3.003
Ceranna, L.	S4-1.002, SO-5.004, SO-P.014, SO-P.027
Cesca, S.	S4-1.003, SO-P.009, <b>SO-P.029</b> , SO-P.033
Chiragwile, S.	S4-P.009
Choi, S.	<b>S3-2.003</b>
Clauser, C.	S4-4.002, S4-4.003, <b>S4-4.004</b> , S4-5.001, GO-P.001
Clinton, J.	S4-2.003
Cobden, L.	SO-P.035
Confal, J.	UI-1.002, <b>UI-P.007</b>
Conroy, G.	S2-3.004
Costabel, S.	<b>BL-P.003</b> , <b>BL-P.004</b>
Cristiano, L.	SO-4.001

## D

Dahm, T.	<b>S4-1.003</b> , SO-1.002, SO-5.002, <b>SO-8.002</b> , SO-P.009, SO-P.029, SO-P.031, SO-P.033
Daniell, J.	SO-P.018, SO-P.019, SO-P.020
Davis, A.	EM-3.004
Day, A.	S2-2.002
De Nil, D.	S2-3.003, S2-P.009
De Siena, L.	<b>S2-1.002</b> , <b>S2-P.005</b> , <b>S2-P.006</b>
Deckert, H.	S4-P.006
Dehghani, A.	<b>MG-P.001</b>
Deichmann, N.	S4-2.003
Delock, M.	EM-P.002
Demuth, A.	S1-1.004
Deus, N.	EM-P.008
Diamantopoulos, E.	GE-P.007
Diehl, T.	<b>S4-2.003</b>
Dietrich, P.	S3-P.009, S4-P.002, UI-P.004, UI-P.005, UI-P.008
Diez, A.	<b>SE-3.003</b>
Dinsel, F.	<b>S4-P.003</b>
Dinske, C.	S4-5.003, S4-P.005
Dlugosch, R.	EM-3.004, MI-P.006
Dobson, D.P.	SO-P.035
Dokter, E.	<b>S2-2.003</b> , <b>S2-P.010</b>
Donner, S.	<b>S2-1.001</b> , <b>S2-P.007</b>
Dorbath, L.	S4-2.004
Dorn, A.	<b>MA-P.004</b>
Doubre, C.	S1-2.003
Dresen, G.	S4-1.005, S4-2.002, SO-6.003, SO-P.008, SO-P.010
Ducassou, C.	SO-P.032
Durner, W.	GE-P.007
Dutsch, C.	<b>S4-P.008</b>
Dzieran, L.	<b>SO-1.003</b>
Dünnbier, K.	<b>UI-1.002</b> , UI-P.007

## E

Ebbing, J.	<b>S3-3.002</b> , S3-P.003, S3-P.004
Ebigbo, A.	S4-4.002, S4-4.003
Echtler, H.	SO-4.004
Eckhofer, F.	EM-P.019
Ehmann, S.	<b>BL-1.003</b> , BL-1.004
Eiermann, M.	EM-P.019, EM-P.020
Eifert, A.	<b>EM-P.015</b>
Eisbacher, G.H.	S1-2.001
Eisen, O.	<b>EM-3.001</b> , SE-3.003
Eisermann, A.	<b>SO-6.004</b>
El-Hussain, I.	SO-P.032
Elbracht, J.	EM-P.008
Engels, M.	EM-2.002, MG-P.002, MG-P.003
Engels, U.	MG-2.003
England, R.	S3-P.003
Englert, A.	S2-P.008
Erkul, E.	AR-P.001
Ernst, O.	EM-P.019, EM-P.020
Eröss, R.	<b>EM-4.002</b>
Esser, O.	GE-2.003

## F

Fallahi, M.J.	<b>SO-P.016</b>
Fattah, R.A.	S3-3.002
Fechner, T.	SE-4.005
Fediuk, A.	<b>AR-P.001</b>
Fehr, M.	<b>S2-P.004</b>
Feinendegen, M.	S4-4.004
Feldens, P.	MG-1.001
Fertig, J.	<b>GS-1.002</b>
Feskova, T.	<b>UI-P.008</b>
Fielitz, W.	S1-2.001
Filippovich, Y.	MI-P.007
Finger, N.-P.	S3-3.004
Firnbach, L.	<b>S4-P.002</b>
Fischer, P.	GE-P.002
Fischer, T.	SO-8.002
Flechsig, C.	AR-P.003
Flores, H.	SE-P.005
Folesky, J.	<b>SO-8.004</b>
Forbriger, T.	S2-2.005, <b>S2-P.001</b> , S3-2.004, MI-P.002
Forkmann, B.	EM-P.018
Franke, D.	S1-1.003
Franke-Börner, A.	EM-P.012
Frey, E.	<b>SO-P.018</b>
Friederich, W.	S2-3.001, S2-P.003
Fries, T.	S4-4.004
Frietsch, M.	SO-7.001, <b>SO-8.001</b>
Fritsch, K.	BL-1.001
Fritsch, T.	AR-P.002
Frühauff, D.	<b>MA-P.009</b>
Fuhrmann, T.	<b>S1-2.002</b>
Fuis, G.S.	SE-3.001
Furman, A.	GE-P.004
Fußek, F.-J.	UI-P.001

## G

Gabriel, G.	S3-P.007, S3-P.012
Gajewski, D.	MI-2.002, SE-1.001, SE-1.002, SE-1.003, SE-2.004
Galindo Guerreros, J.	<b>S4-5.003</b>
Garofalo, K.	S4-P.009
Garus, D.	<b>SO-P.005</b>
Gassner, L.	SO-7.001
Gaucher, E.	<b>S4-1.004</b> , S4-2.004
Gaßner, L.	<b>SO-7.004</b>
Geerits, T.W.	BL-P.001
Gerloff, I.	<b>UI-P.011</b>
Germer, N.	<b>MA-P.001</b>
Gestermann, N.	<b>S4-1.002</b> , SO-8.003, SO-P.027
Ghods, A.	S2-1.001, S2-P.007
Gibert, L.	SE-P.008
Giese, R.	S2-2.001, BL-1.001, SE-4.001, UI-2.003
Gil, M.	<b>SE-2.001</b>
Giroux, B.	EM-1.001
Gitlein, O.	S3-P.010
Glaßmeier, K.-H.	EX-1.002, GO-P.004, MA-1.004, MA-P.001, MA-P.009
Gleser, R.	AR-P.002

Glogowski, S.  
Goepel, A.  
Goertz, A.  
Gohl, K.  
Goldman, M.  
Goldman, M.R.  
Gonzalez, A.  
Gottschämmer, E.

Gradmann, S.  
Grigoli, F.  
Grimmer, J.C.  
Grinat, M.  
Groh, M.  
Grohmann, M.  
Grombein, T.  
Groos, J.C.  
Groos, L.  
Grosse, C.  
Großbach, H.  
Gruetzner, J.  
Grund, M.  
Guenther, T.  
Gummert, M.  
Guralp, C.  
Gurk, M.  
Gutknecht, B.D.  
Götz, J.  
Götze, H.-J.

Güldemeister, N.  
Günther, T.  
Güting, N.

## H

Haagmans, R.  
Haaken, K.  
Haas, P.  
Haberland, C.  
Hall, P.  
Hambach, U.  
Hanneken, M.  
Hannemann, K.  
Haroön, A.  
Hartline, C.  
Hartmann, C.  
Hartmann, G.  
Hassler, H.  
Hausmann, J.  
Heck, B.  
Heider, S.  
Heimann, S.  
Heinrich, F.C.  
Heinzelmann, M.  
Heinzmann, K.  
Hellmann, S.  
Hellwig, O.

MG-1.001  
BL-P.002, GO-P.007, MA-P.003, MA-P.005, SE-4.003  
S2-2.002  
MG-2.001  
EM-P.006  
SE-3.001  
SO-P.029  
**GO-P.012, GO-P.017**, GO-P.018, SO-7.004, SO-P.017, SO-P.018, SO-P.019  
**S3-P.003**  
SO-P.009, SO-P.029  
**S1-2.001, MA-P.002**  
UI-P.011  
BL-1.001  
**UI-P.010**  
S3-1.002, **S3-2.001**  
SO-7.001, SO-7.003, SO-8.001  
S2-2.005, S2-P.001, **MI-P.002**  
MI-1.002  
**GE-1.004**  
**MG-1.003**  
SO-7.001, **SO-7.003**  
MA-P.005  
**S1-1.002**  
MG-1.004, SO-P.002  
EM-P.013, **GO-P.009**, MA-P.004, **UI-1.003**  
**S3-P.001**  
SE-2.001, **SE-P.003**  
S3-1.001, S3-2.002, S3-2.003, S3-3.001, **S3-3.004**, S3-P.002, S3-P.005, MA-P.006  
MI-1.002  
GE-2.002, UI-2.002, **UI-P.012**  
**S2-P.008**

S3-3.002  
**GE-P.004**  
**GD-P.002**  
SE-P.008  
**SO-P.006**  
MA-1.001  
**SO-P.001**  
SO-1.002, **SO-P.031**  
**EM-P.006**  
S4-1.005  
SE-P.006  
SO-5.004, SO-P.021, SO-P.027  
**GO-P.016**  
**UI-P.004, UI-P.005**  
S1-2.002, S3-1.002, S3-2.001, GF-P.001, GO-P.015  
**S2-2.001**  
SO-P.029, **SO-P.033**  
MA-P.008  
AR-1.001  
GO-P.001  
**BL-P.001**  
S2-3.003, **S4-3.002**, BL-P.001, **EM-P.018**, MI-P.004, SE-4.002,

Hempel, S.	SE-4.004
Henninges, J.	<b>SO-P.026</b>
Hering, P.	SE-P.003
Hertweck, T.	<b>EM-P.017</b>
Hese, F.	S2-3.004
Heyde, I.	SE-2.003
Heyn, B.	S1-1.003, <b>S3-P.006</b>
Heyner, D.	<b>SO-P.025</b>
Hilgers, C.	<b>EX-1.001</b> , EX-1.002, MA-P.011
Hinzen, K.-G.	GO-P.001
Hlousek, F.	SO-5.002
Hochmuth, K.	S4-3.002, <b>SE-4.002</b> , SE-P.004
Hoernle, K.	<b>MG-2.001</b>
Hoff, F.	MG-2.003
Hoffmann, M.	GO-P.019, GO-P.020
Hofmeister, P.	S4-P.005
Hofstede, C.	MA-1.004
Hole, J.A.	SE-3.003
Holzrichter, N.	SE-3.001
Homuth, B.	<b>S3-3.001</b> , S3-3.002
Horn, M.	<b>SO-7.002</b>
Hruska, M.	<b>MG-2.005</b>
Huhn, K.	<b>GO-P.001</b>
Huisman, J.A.	MI-1.004
Hupfer, S.	EM-1.003, EM-1.005, GE-2.003
Hyatt, C.	BL-P.004, <b>GE-3.001</b>
Häfner, R.	S2-P.008
Hänel, F.	<b>SO-4.002</b>
Hölz, S.	SO-P.007
Hördt, A.	EM-P.011
	BL-1.003, BL-1.004, GE-1.003, GE-P.001, GE-P.007, <b>GO-P.004</b> ,
	MA-1.002, MA-1.004, MA-P.001, MA-P.010, MA-P.011
Hübner, C.	EM-4.001
Hübscher, C.	GO-P.006
Hürtgen, J.	<b>SO-P.022</b>
<b>I</b>	
Ickrath, M.	SO-P.010
Igel, J.	EM-P.004, <b>EM-P.007</b>
Irmak, T.S.	<b>SO-P.009</b>
Ito, H.	SO-6.003, SO-P.008, SO-P.010
Ivanova, A.	SE-2.001
<b>J</b>	
Jacobs, F.	<b>GS-1.001</b>
Jacoby, W.	<b>S3-3.003</b> , <b>GO-1.001</b>
Jahn, G.	<b>S3-P.007</b> , S3-P.010
Jahr, T.	GD-P.003, <b>GO-P.007</b>
Jakowski, N.	EX-1.003
Jetschny, S.	S2-2.001, <b>S2-2.002</b>
Jiang, C.	<b>MI-P.006</b>
John, S.	<b>SE-P.004</b>
Jokat, W.	S1-1.003
Jonas, O.	<b>UI-P.009</b>
Joswig, M.	GF-1.001, SO-2.004, SO-6.004, SO-8.003
Juhlin, C.	SE-2.001, SE-4.001



Jun, L.	MI-P.006
Junge, A.	EM-1.002, EM-4.003, EM-P.017, GE-2.001
Jupp, R.	S2-3.004
Jurado, M.J.	SE-P.008
Jurczyk, A.	BL-1.001

## K

Kadirioglu, F.T.	SO-P.008
Kadiriouglu, F.T.	SO-6.003, SO-P.010
Kaiser, D.	SO-P.021
Kalming, S.	AR-1.002
Kalthoff, N.	EM-4.001
Karrech, A.	S4-P.006
Kartal, R.F.	SO-6.003, SO-P.008, SO-P.010
Kashtan, B.	MI-2.002
Katzschmann, L.	SE-P.001
Kaus, B.	GD-1.004, GD-P.004
Kelly, S.	S2-2.002
Kemna, A.	GE-2.003, GE-2.005, GE-P.004, GE-P.006, <b>GO-P.003</b> , SE-4.005
Kenkel, J.	<b>GE-P.006</b>
Kessler-Schulz, K.U.	<b>S3-1.004</b>
Kieler Geophysik-Team,	GO-P.008
Kilic, T.	SO-6.003, SO-P.008, SO-P.010
Kind, R.	<b>SO-6.002</b>
Kirsch, R.	S3-3.004, SE-2.003
Kiseleva, O.	<b>EM-4.001</b>
Kissling, E.	S4-2.003
Klemme, S.	S2-1.002
Klitzsch, N.	S4-5.001
Klotzsche, A.	<b>S2-1.004</b> , S2-1.005, S2-P.008
Knieß, R.	UI-2.002
Knöpfler, A.	<b>GF-P.001</b>
Koch, K.	<b>SO-P.014</b>
Kohl, S.	GD-1.001
Kohl, T.	S4-1.004, S4-2.001, S4-2.004
Kohler, M.	EM-4.001
Komissarov, D.	MI-P.007
Koopmann, H.	S1-1.003
Kopera, J.	S4-1.001
Korger, E.	S1-1.004
Korn, M.	<b>GO-P.010</b> , SO-P.015, SO-P.016
Kottmeier, C.	EM-4.001
Koushesh, M.	<b>SE-1.001</b>
Kracht, M.	SO-7.002
Kraft, T.	S4-2.003
Krastel, S.	<b>MG-1.001</b>
Krause, M.	GO-P.007, <b>SE-4.003</b>
Krauß, F.	<b>BL-1.001</b> , <b>UI-2.003</b>
Krawczyk, C.M.	S1-1.003, S3-P.007, S3-P.012, S4-P.004, SE-2.001, SE-2.002, SE-2.003, SE-P.001
Krech, W.	MA-P.007
Krein, A.	UI-1.001
Kriegerowski, M.	SO-P.033
Krueger, O.S.	MI-2.001
Kruschwitz, S.	<b>GE-1.002</b>
Kruse, J.P.	<b>GD-1.003</b>
Krämer, F.	GO-P.019, GO-P.020

Kröger, B.	<b>SE-4.005</b>
Krüger, F.	S2-1.001, S2-P.007, GO-P.011, <b>SO-1.002</b> , SO-P.031
Krüger, J.	UI-P.011
Krüger, K.	BL-1.001
Kuhn, E.	<b>MA-P.011</b>
Kuhn, K.	GE-3.001, UI-2.002
Kuhn, P.	S4-4.001
Kukowski, N.	BL-P.002, GO-P.007, MA-P.003, MA-P.005, MA-P.007, SE-4.003
Kummerow, J.	SO-2.002, SO-8.004
Kurashov, I.	<b>SE-P.009</b>
Kurrle, D.	SO-5.002
Kurzmann, A.	S2-3.002, <b>S2-P.002</b>
Kwiatek, G.	S4-1.005, <b>S4-2.002</b>
Käppler, R.	S3-P.011
Köhler, A.	<b>SO-P.013</b>
Köhn, D.	<b>S2-1.003</b> , S2-2.003, <b>S2-2.004</b> , <b>S2-3.003</b> , S2-P.004, <b>S2-P.009</b> , S2-P.010, <b>S2-P.011</b> , UI-P.013
Königer, F.	EM-4.001
Kück, J.	BL-1.001
Küperkoch, L.	SO-P.028

## L

Lahmeyer, B.	MI-1.001
Lamotte, S.	S1-2.003
Lambrecht, A.	SE-3.003
Lambrecht, L.	S2-P.003
Landgraf, A.	S2-P.007
Langenbruch, C.	S4-5.003
Langhamer, L.	<b>GO-P.018</b>
Laske, G.	<b>SO-P.012</b> , SO-P.030
Lebedev, S.	SO-4.001
Lehmann, K.	<b>SO-3.002</b> , SO-5.002
Lehmann, R.	<b>GD-P.004</b>
Leichter, B.	GO-P.022
Leonhardt, R.	GO-P.022
Lerch, J.	<b>GO-P.021</b>
Lessing, S.	SO-2.003, <b>SO-4.003</b> , <b>SO-P.024</b> , <b>SO-P.035</b>
Leven, M.	BL-1.003, BL-1.004
Leydecker, G.	SO-3.002
Licha, T.	S4-5.002
Lieb, V.	S3-3.002
Lindau, T.	<b>EM-P.010</b> , EM-P.016
Lindenfeld, M.	S1-1.002, SO-7.002
Linke, M.	EM-P.018, <b>MI-P.004</b>
Loewer, M.	<b>EM-P.004</b>
Lukáčová-Medvid'ová, M.	GD-P.004
Löbl, U.	SO-6.001
Löwer, A.	<b>EM-4.003</b>
Lück, E.	UI-P.003
Lühr, B.-G.	SO-P.009
Lüschen, E.	<b>S4-3.003</b> , S4-P.001
Lüth, S.	SE-2.001, SE-P.003
Lüttswager, G.	<b>SE-P.007</b>

## M

Macht, S.	MA-1.002
-----------	----------

Mader, S.	<b>SO-1.004</b>
Maghsoudi, S.	SO-P.029
Mai, M.	<b>SO-P.034</b>
Maier, F.	<b>S4-5.002</b>
Malecki, S.	<b>EM-3.003</b>
Malin, P.E.	SO-6.003, SO-P.008, SO-P.010
Malz, A.	MA-P.005
Manfred, J.	SO-8.005
Mangano, G.	MG-1.004
Marquart, G.	S4-4.002, S4-4.003
Martin, T.	BL-P.004, GE-3.001, <b>UI-2.002</b>
Martínez - Garzón, P.	<b>S4-1.005</b> , S4-2.002
Marzen, R.	SO-P.012
Masson, F.	S1-2.003
Mauerberger, S.	S2-P.001
Maul, H.	<b>GD-P.001</b>
Maupin, V.	S3-P.003
Maurer, H.	SE-4.001
Mavilio, A.V.	S2-2.002
Mayer, C.	SE-3.003
Mayer, M.	GF-P.001, <b>GO-P.015</b>
Mayr, S.	<b>UI-P.001</b>
McGowan, M.	SO-P.002
Mechie, J.	<b>S1-1.001</b>
Mecking, R.	<b>SE-2.003</b>
Meekes, S.	S3-3.002
Meghraoiu, M.	<b>S1-2.003</b>
Meier, T.	S2-2.004, S2-P.004, SO-4.001, SO-P.032
Meller, C.	<b>S4-2.001</b>
Menzel, P.	<b>S3-1.001</b>
Mester, A.	<b>EM-1.004</b> , EM-1.005
Methe, P.	<b>BL-P.002</b>
Meyer, H.-G.	MA-P.003, MA-P.005, MA-P.007
Meyer, M.	MA-P.003, MA-P.005
Meyer, R.	<b>GE-2.004</b>
Meyer, U.	EM-P.008, EM-P.009, MA-P.003
Michalski, A.	<b>S4-5.001</b>
Mielentz, F.	UI-2.001
Miensopust, M.	<b>EM-P.005</b>
Miller, H.	SE-3.003
Mittag, R.	<b>SO-P.007</b>
Moghadas, D.	<b>EM-2.002</b>
Mokelke, G.	<b>SO-8.005</b>
Mollenhauer, H.	<b>S3-P.009</b>
Morales, W.	S4-1.001
Moran, S.	S2-1.002
Moritz, D.	EM-4.002
Moser, D.	MI-1.002
Mothi, S.	S2-3.004
Mousavi, S.S.	<b>SO-P.015</b>
MSM32 Scientific Party,	MG-1.001
Mullick, N.	<b>SO-2.005</b>
Murzin, R.	MI-P.007
Musmann, P.	SE-3.002
Müller, H.	<b>MG-2.004</b> , MG-P.002
Müller, S.	SE-3.004, <b>UI-2.004</b>
Müller-Petke, M.	BL-P.003, <b>EM-3.004</b> , MI-P.006, UI-P.012

## N

Nabert, C.	<b>EX-1.002</b>
Najdahmadi, B.	<b>SO-P.011</b>
Naser, M.	<b>EM-1.002</b>
Neuhaus, M.	<b>BL-1.004</b>
Neunhöfer, H.	GS-1.001
Nickel, I.	<b>EM-P.014</b>
Niederau, J.	<b>S4-4.002, S4-4.003</b>
Niederleithinger, E.	GE-1.002, <b>SE-3.004</b> , UI-2.004, UI-P.010
Niemann, R.	<b>GO-P.013</b>
Nippess, S.	SO-2.003
Nissen-Meyer, T.	SO-P.026
Nittinger, C.	<b>EM-4.004</b>
Noell, U.	BL-P.004, GE-3.001, UI-2.002, UI-P.006
Nordsiek, S.	GE-1.003, <b>GE-P.007</b>
Nurlu, M.	SO-6.003, SO-P.008, SO-P.010
Nuth, C.	SO-P.013

## O

Oberender, T.	<b>UI-P.003</b>
Ochmann, N.	<b>S4-P.009</b>
Oelke, A.	<b>MI-2.001</b>
Oeser, E.	GS-1.002
Ossipov, A.	<b>GD-1.002</b>
Oth, A.	<b>SO-5.003</b> , UI-1.001
Othmer, C.	EX-1.002

## P

Paasche, H.	UI-P.005
Pappa, F.	<b>S3-P.004</b>
Patzer, C.	<b>EM-P.012</b>
Pearce, N.	SO-P.002
Pearcey, C.	MG-1.004
Pechan, E.	S4-P.007
Pechnig, R.	S4-4.002
Pedersen, M.W.	S2-2.002
Petzke, M.	<b>MA-1.004</b>
Pickartz, N.	<b>AR-1.001</b> , EM-4.002
Pietsch, R.	<b>MG-2.002</b>
Pilger, C.	SO-P.014
Platz, A.	EM-2.001
Plenefisch, T.	S4-1.002
Plonka, C.	MI-1.001
Polom, U.	S4-P.004, SE-3.002
Pommerencke, J.	SE-P.005
Pontius, M.	<b>MI-P.003</b>
Popov, A.	GD-1.004
Pramono, B.	S4-P.004
Prigent, C.	SO-P.032
Przyklenk, A.	<b>GE-P.001</b>

## Q

Queitsch, M.	MA-P.003, <b>MA-P.005</b> , MA-P.007
--------------	--------------------------------------

## R

Rabbel, W.	S2-1.003, S2-2.003, S2-3.003, S2-P.009, S2-P.010, S2-P.011, S3-P.004, AR-1.002, AR-P.001, <b>GO-P.008</b> , SE-2.003, SO-1.003, UI-P.013
Rademacher, H.	<b>MG-1.004</b> , <b>SO-P.002</b>
Radic, T.	<b>GE-P.005</b>
Rasskazova, S.	MI-P.007
Ratcliffe, A.	<b>S2-3.004</b>
Raub, C.	SO-6.003, <b>SO-P.008</b> , SO-P.010
Rebscher, D.	<b>S4-P.007</b>
Regenauer-Lieb, K.	S4-P.006
Reicherter, K.	EM-P.011, SO-P.022
Reiß, A.-S.	<b>SO-P.019</b> , <b>SO-P.020</b>
Richter, I.	MA-1.003
Riedel, M.	EM-P.001
Riedel, M.	<b>S4-3.001</b> , S4-P.008
Rippe, D.	<b>MG-P.003</b>
Ritter, J.R.R.	S1-2.001, <b>S1-2.004</b> , SO-5.002, <b>SO-7.001</b> , SO-7.003, SO-7.004
Ritter, O.	SO-8.001
Ritzmann, O.	EM-2.001, EM-4.005, MI-P.005
Robertsson, J.	SE-P.007
Rolf, C.	SE-4.001
Ronczka, M.	MA-1.001
Rost, S.	<b>GE-2.002</b>
Rothmund, S.	SO-P.024, SO-P.035
Roß, J.O.	<b>GF-1.001</b>
Rudersdorf, A.	SO-5.004
Rudolph, S.	<b>EM-P.011</b>
Rumpf, M.	EM-1.005
Ryberg, T.	UI-P.005
Rychert, C.A.	SE-3.001
Rymer, M.J.	SO-P.012
Rödder, A.	SE-3.001
Röser, A.	<b>GE-2.001</b>
Rößler, D.	GO-P.013
Rücker, C.	S2-1.001, S2-P.007
Rühlmann, J.	S4-P.003, UI-P.009
Rümpker, G.	UI-P.003
	S1-1.002, SO-6.001, SO-7.002

## S

Saki, M.	<b>SO-2.003</b> , SO-4.003
Salomon, C.	<b>GD-P.003</b>
Sandig, C.	UI-P.002
Santos Ferreira Adão, F.J.	<b>MI-P.005</b>
Sauer, U.	<b>UI-P.002</b>
Sauter, M.	GE-2.004
Scarcella, A.	GD-P.001
Schaeben, H.	GO-P.005
Schaller, T.	<b>S3-P.002</b>
Scheidt, S.	<b>MA-1.001</b>
Schenk, A.	S1-2.002
Schennen, S.	<b>EM-4.005</b>
Scheunert, M.	<b>EM-P.020</b>
Schicht, T.	UI-1.002, UI-P.007
Schiffler, M.	MA-P.003, MA-P.005, <b>MA-P.007</b>

Schildknecht, F.	UI-P.006
Schill, E.	S4-4.001
Schilling, M.	<b>S3-P.010</b>
Schleiffer, F.	AR-P.003
Schliffke, N.	EM-P.001
Schlindwein, V.	<b>S1-1.004</b>
Schlittenhardt, J.	S4-1.001, SO-P.022
Schlote, H.	SO-P.021
Schmalzl, J.	<b>EM-P.016</b>
Schmeling, H.	S1-P.001, <b>GD-1.001</b> , GD-1.002, GD-1.003, GD-P.001, GD-P.002
Schmelzbach, C.	SE-4.001
Schmerr, N.C.	SO-4.003
Schmidt, A.	AR-P.003, SE-P.005
Schmidt, B.	SO-5.002
Schmidt, S.	<b>S3-2.002</b> , S3-3.004, S3-P.005
Schmidt, S.	SE-P.001
Schmidt, V.	AR-P.002, EM-P.001, <b>MA-P.008</b>
Schmidt-Aursch, M.	<b>SO-1.001</b>
Schmitt, S.	<b>MA-P.010</b>
Schmitz, B.	<b>MI-P.001</b>
Schnabel, M.	S1-1.003
Schneider, M.	MA-P.007
Schoenball, M.	<b>S4-2.004</b>
Scholl, C.	MG-P.003
Schreckenberger, B.	S1-1.003
Schroth, E.	<b>S3-2.004</b>
Schulz, H.R.	<b>S3-1.003</b> , S3-1.004
Schulz, R.	S4-3.003, S4-P.001
Schumacher, F.	<b>S2-3.001</b>
Schumacher, L.	<b>SO-P.023</b>
Schumann, L.-J.	SO-P.009
Schurr, B.	SO-4.004
Schwaderer, U.	<b>SO-8.003</b> , SO-P.003
Schwalenberg, K.	EM-2.002, <b>MG-P.002</b> , MG-P.003
Schwarz, B.	SE-1.001, SE-1.002, <b>SE-1.003</b>
Schwarz, O.	GO-1.001
Schweitzer, J.	SO-3.001, SO-P.013
Schwerdtle, S.	<b>AR-P.003</b>
Schäfer, D.	UI-P.013
Schäfer, M.	<b>S2-2.005</b> , S2-P.001
Schütze, C.	UI-P.002
Scott, G.	SE-P.008
Seidel, M.	<b>EM-2.004</b>
Seitz, K.	<b>S3-1.002</b> , S3-2.001, GO-P.015
Sens-Schönfelder, C.	SO-P.004, SO-P.016
Serfling, U.	UI-P.002
Shahraki, M.	GD-P.002
Shapiro, S.A.	S4-5.003, MI-2.001, SE-4.004, SO-2.002, SO-8.004, UI-P.001
Siebert, P.	S4-4.004
Siemon, B.	EM-P.005, <b>EM-P.008</b> , <b>EM-P.009</b> , MA-P.003
Simon, H.	<b>SE-4.001</b>
SIV-Team, ..	SO-P.034
Skiba, P.	<b>S3-P.012</b>
Slater, L.	GE-1.001
Smirnov, M.	S3-P.003
Sneeuw, N.	S3-P.008
Sobiesiak, M.	S3-P.002

Sodoudi, F.	SO-6.002
Sokolov, S.	SE-P.002
Soomro, R.A.	<b>SO-4.001</b>
Spangenberg, E.	MI-P.005
Spies, T.	<b>S4-1.001</b> , SO-P.022
Spitzer, K.	S4-3.004, EM-1.001, EM-3.003, EM-P.012, EM-P.015, EM-P.019, EM-P.020, EM-P.021, <b>GO-P.005</b>
Stadlbauer, S.	<b>EM-2.003</b>
Stange, S.	<b>SO-5.002</b>
Stebner, H.	<b>MA-1.002</b> , MA-P.010
Stelling, U.	SO-P.001, SO-P.021
Steuer, A.	EM-P.009, MA-P.003, <b>UI-P.006</b>
Steveling, E.	BL-1.004
Stiller, M.	SE-P.008
Stock, J.M.	SE-3.001
Stoll, J.B.	EM-4.002, EM-P.001
Stolz, R.	EM-3.004, <b>MA-P.003</b> , MA-P.005, MA-P.007
Streicher, F.	SO-P.014
Stutzmann, E.	SO-P.025
Sudhaus, H.	<b>SO-4.004</b>
Swoboda, U.	<b>SE-P.006</b>
Szwillus, W.	S3-3.001

## T

Takahashi, K.	EM-P.007
Tanner, D.C.	SE-2.002
Teshebaeva, K.	SO-4.004
Tezkan, B.	AR-1.001, EM-2.004, EM-4.002, EM-P.006, EM-P.013, GE-1.004, GE-P.002, GE-P.003, MA-P.004, MI-1.003
Thiel, N.	<b>GO-P.014</b>
Thiemann, K.	<b>SO-P.004</b> , UI-1.002, UI-P.007
Thomas, C.	S2-1.002, S2-P.005, S2-P.006, SO-2.003, SO-4.003, SO-P.006, SO-P.023, SO-P.024, SO-P.025, SO-P.026, <b>SO-P.030</b> , SO-P.035
Thomas, R.	S4-3.003, S4-P.001, SE-3.002
Thorwart, M.	SE-2.003, SO-1.003
Tietze, K.	<b>EM-2.001</b> , EM-4.003
Tischner, T.	S4-P.007
Treichel, A.	<b>GE-2.003</b>
Tronicke, J.	EM-3.002, EM-P.002, <b>GO-P.011</b> , UI-P.005
Trumbull, R.	S1-1.003
Tsang, H.-H.	SO-P.018
Tsimelzon, B.	S2-2.002
Tuchkova, M.	SE-P.002
Tunç, B.	SO-P.009
Töpfer, M.	BL-1.001

## U

Ueding, S.	EM-P.016, SO-P.006
Uenzelmann-Neben, G.	MG-1.003, MG-2.001, MG-2.002, MG-2.005
Umlauft, J.	<b>SE-P.005</b>
Undorf, S.	<b>GE-2.005</b>
Unvericht, D.	MG-1.001

## V

van der Kruk, J.	S2-1.004, S2-1.005, S2-P.008, EM-1.003, EM-1.004, EM-1.005, EM-P.001
------------------	--

van Waasen, S.	EM-1.004
Vanacore, E.	SO-4.003
Vanderborght, J.	S2-P.008
Vanelle, C.	<b>GO-P.006</b> , SE-1.003, SE-2.004
Vasilev, V.	<b>MI-P.007</b> , SE-P.002
Vasterling, M.	<b>S4-P.005</b>
Vatrushkina, E.	SE-P.002
Vavrycuk, V.	SO-2.001
Veile, I.	MI-P.003
Vereecken, H.	S2-1.004, S2-1.005, S2-P.008, EM-1.004, EM-1.005, GE-2.003
Verzhbitsky, V.	MI-P.007, <b>SE-P.002</b>
Vieira da Silva, N.	S2-3.004
Vienken, T.	S4-P.002
Vinje, V.	S2-3.004
Virgil, C.	BL-1.003, BL-1.004, <b>MA-1.003</b> , MA-P.010, MA-P.011
Vogel, D.	S3-P.007, S3-P.010
von Dobeneck, T.	MG-2.004
von Hartmann, H.	S4-3.003, <b>S4-P.001</b>
von Hebel, C.	<b>EM-1.005</b>
Voß, W.	EM-P.008, EM-P.009

## W

Waite, G.P.	S2-1.002
Waldhauser, F.	S4-2.003
Wallner, H.	<b>S1-P.001</b>
Walter, T.R.	<b>SO-5.001</b>
Wawerzinek, B.	<b>SE-3.002</b>
Weber, N.	S4-4.004
Weckmann, U.	EM-2.001
Wegler, U.	S4-P.005
Weidle, C.	SO-4.001, SO-P.013, <b>SO-P.032</b>
Weikusat, I.	SE-3.003
Weisbrod, N.	GE-P.004
Weismüller, C.	GD-P.001
Weißflog, J.	<b>EM-P.019</b>
Weller, A.	BL-1.002, <b>GE-1.001</b> , GE-2.004
Wellmann, J.F.	S4-2.004
Wenske, I.	<b>SE-4.004</b>
Wenzel, D.	<b>EX-1.003</b>
Wenzel, F.	SO-P.017, SO-P.018, SO-P.019, SO-P.020
Werban, U.	UI-P.004, UI-P.005
Westerhaus, M.	S1-2.002, S3-2.004, GO-P.015
Wetzig, E.	SO-P.001
Wichert, S.	<b>GE-P.002</b>
Widmer-Schnidrig, R.	S3-P.008, SO-1.004, SO-4.002, <b>SO-P.003</b>
Wiederhold, H.	EM-P.008, EM-P.009
Wieggers, C.	UI-P.013
Wiemer, S.	S4-2.003
Wiggenhauser, H.	UI-2.001
Wigger, P.	SE-4.004, SO-2.002
Wilhelms, W.	EM-P.012, <b>EM-P.021</b>
Wilken, D.	S2-2.003, AR-1.002
Willbrand, K.	S4-4.004
Winter, H.	SO-7.002
Wittke, J.	<b>MI-1.003</b>
Wiyono, W.	<b>S4-P.004</b>
Woith, H.	SO-P.009



Wolf, J.	<b>UI-2.001</b>
Wollin, C.	<b>SO-P.028</b>
Wombell, R.	S2-3.004
Wunderlich, T.	<b>AR-1.002</b> , AR-P.001
Wynn, R.B.	MG-1.001
Wölbern, I.	S1-1.002, <b>SO-6.001</b>
Wünnemann, K.	<b>MI-1.002</b>

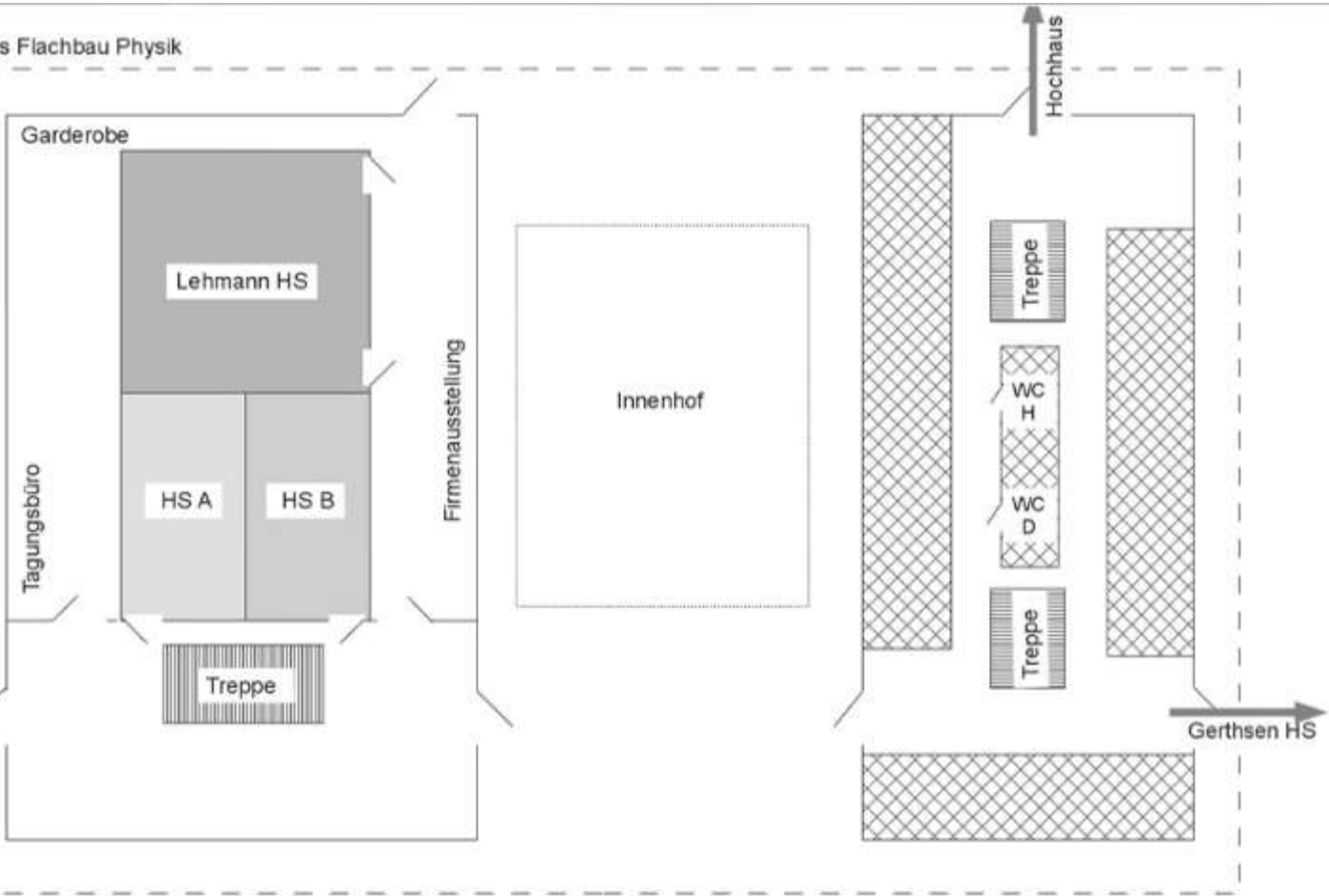
## Y

Yang, X.	<b>S2-1.005</b>
Yang, Y.	<b>SE-2.004</b>
Yaramanci, U.	<b>GO-P.002</b>
Yuan, X.	SO-6.002

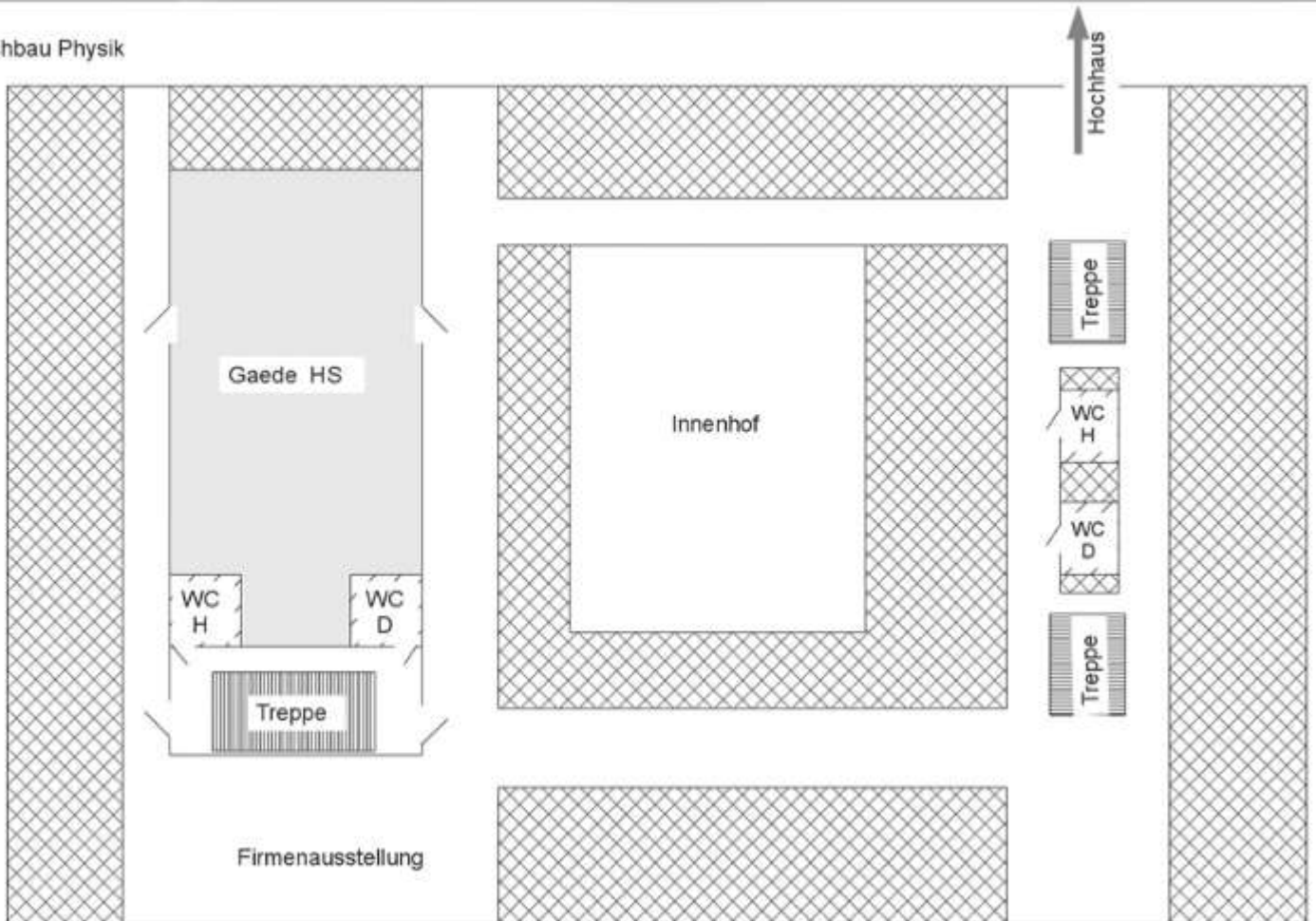
## Z

Zeiß, J.	SO-7.001
Zhang, Y.	<b>S3-P.008</b>
Zhang, Z.	<b>BL-1.002</b>
Ziegler, M.	S4-4.004
Ziesch, J.	SE-2.002
Zimmermann, E.	EM-1.004, GE-2.003
Zippelt, K.	S1-2.002
Zori, D.	AR-1.0

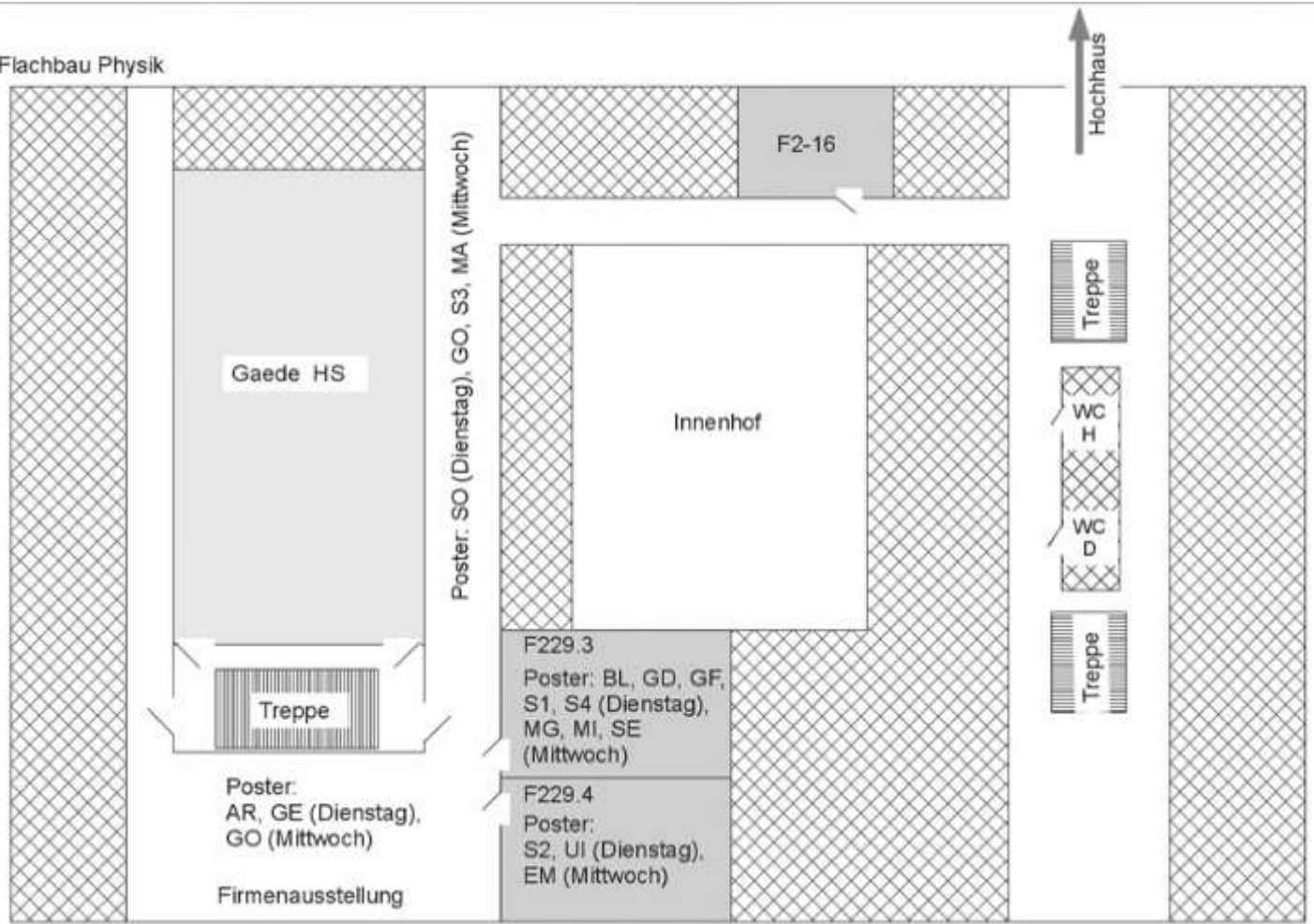
Erdgeschoss Flachbau Physik



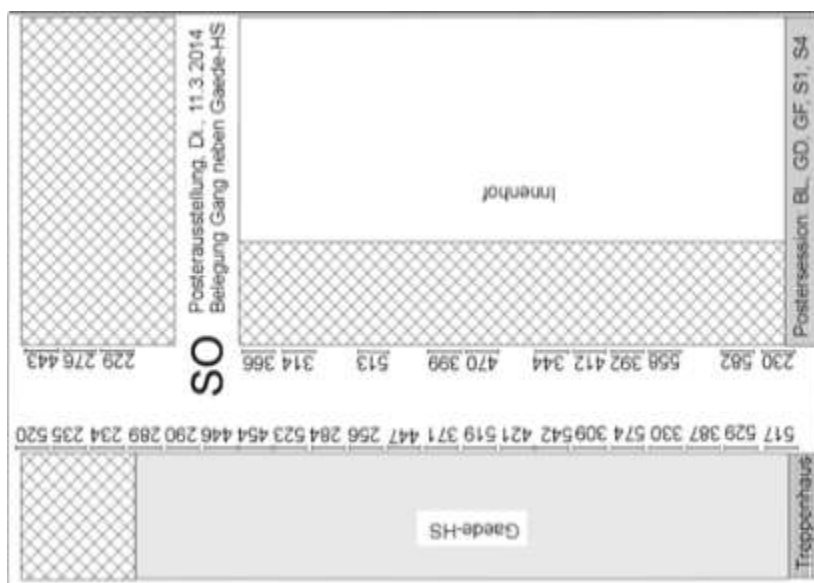
1. OG Flachbau Physik



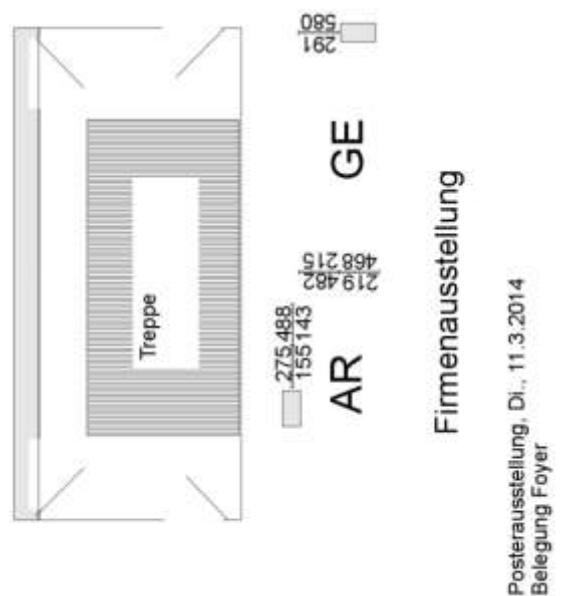
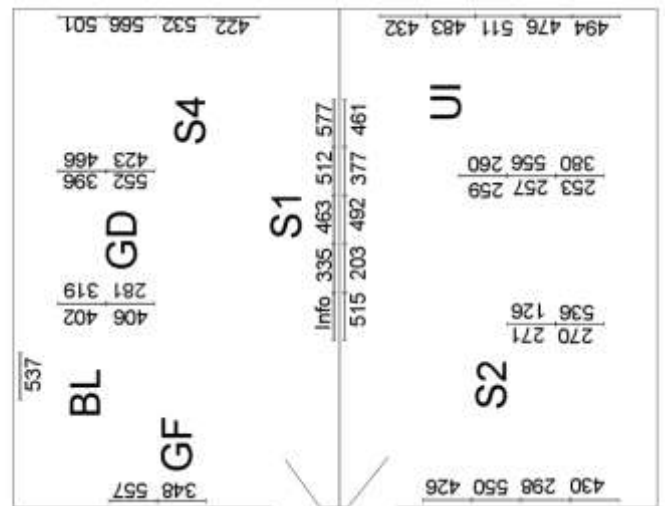
2. OG Flachbau Physik

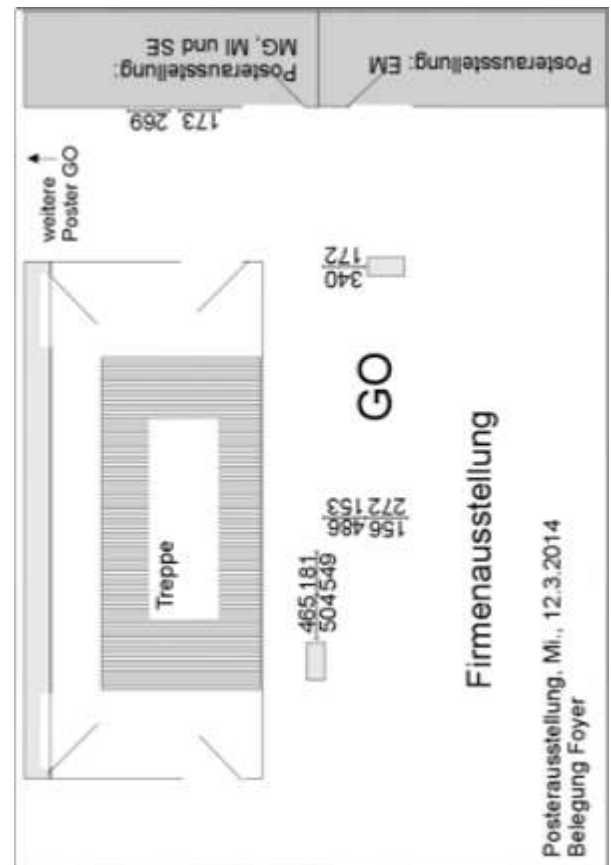
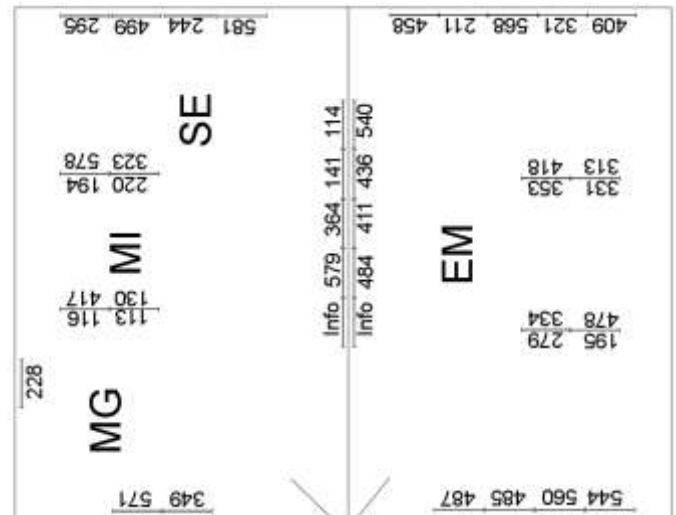
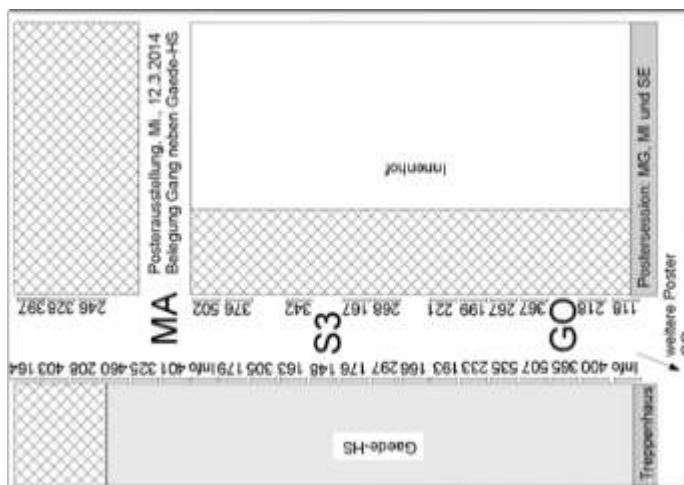


## Postersession am Dienstag, 11.3.2014



Posterausstellung, Di., 11.3.2014  
Belegung F229.3 und F229.4





Postersession am Mittwoch, 12.3.2014



